

Technische Regeln zur Arbeitsschutz- verordnung zu elektromagnetischen Feldern	TREMf Elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz	Teil Allgemeines
---	---	-----------------------------

Die Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz (TREMf HF) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder wieder.

Sie werden vom **Ausschuss für Betriebssicherheit** unter Beteiligung des **Ausschusses für Arbeitsmedizin** ermittelt bzw. angepasst und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Gemeinsamen Ministerialblatt (GMBI) bekannt gegeben.

Diese TREMF HF Teil „Allgemeines“ konkretisiert im Rahmen ihres Anwendungsbereichs Anforderungen der Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern (EMFV). Bei Einhaltung dieser Technischen Regel kann der Arbeitgeber davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Verordnung erfüllt sind. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz für die Beschäftigten erreichen.

Inhalt

- 1 Anwendungsbereich
- 2 Verantwortung
- 3 Anwendung und Gliederung der TREMF
- 4 Begriffsbestimmungen und Erläuterungen
- 5 Physikalische Größen
- 6 Schutzkonzept - Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen
- 7 Expositionszonenkonzept
- 8 Literaturhinweise

Anhang Direkte und indirekte Wirkungen elektromagnetischer Felder

1 Anwendungsbereich

(1) Diese Technische Regel mit ihren Teilen (siehe Absatz 4) dient dem Schutz vor direkten und indirekten Wirkungen durch elektromagnetische Felder (EMF) am Arbeitsplatz.

(2) Die TREMF HF gilt für EMF im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz. Sie gilt nach § 1 Absätzen 2 und 3 EMFV nur für Kurzzeitwirkungen und nicht für vermutete Langzeitwirkungen.

(3) Der Teil „Allgemeines“ dieser TREMF erläutert den Anwendungsbereich der EMFV und enthält die wesentlichen Begriffe, die bei der Umsetzung der EMFV relevant sind, sowie Angaben zu tatsächlichen und möglichen Gefährdungen der Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten durch EMF.

(4) Gegenstand dieser TREMF sind:

1. die wesentlichen Begriffe, die bei der Umsetzung der EMFV hinsichtlich elektromagnetischer Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz relevant sind (Teil „Allgemeines“),
2. die Beurteilung der Gefährdungen der Gesundheit und Sicherheit von Beschäftigten und besonders schutzbedürftigen Beschäftigten durch diese EMF (Teil 1),
3. wie diese EMF gemessen oder berechnet und bewertet werden (Teil 2),
4. die Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung der Gefährdungen von Beschäftigten durch EMF (Teil 3).

2 Verantwortung

(1) Für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung ist der Arbeitgeber verantwortlich. Sofern er nicht selbst über die erforderlichen Kenntnisse verfügt, muss er sich durch fachkundige Personen nach § 2 Absatz 8 EMFV beraten lassen. Dies kann in Abhängigkeit der Art und des Umfangs der Gefährdungsbeurteilung z. B. eine Fachkraft für Arbeitssicherheit sein.

(2) Hinsichtlich der Beteiligungsrechte der betrieblichen Interessenvertretung gelten die Bestimmungen des Betriebsverfassungsgesetzes bzw. der jeweiligen Personalvertretungsgesetze.

(3) Unabhängig von den in dieser TREMF beschriebenen Vorgehensweisen sind vom Arbeitgeber die Beschäftigten oder ihre Interessenvertretung, sofern diese vorhanden ist, aufgrund der einschlägigen Vorschriften zu beteiligen.

3 Anwendung und Gliederung der TREMF

(1) Die in der TREMF HF angegebenen Werte basieren auf sinusförmigen Signalformen mit einer Frequenz. Daher erfolgt eine Umrechnung von Effektiv- in Spitzenwert nach Gleichung 4.2 mit einem Scheitelfaktor von $\sqrt{2}$.

(2) Vektoren physikalischer Größen werden in der Schriftlage fett und kursiv dargestellt, z. B. ***B, E, H***.

(3) Die in dieser TREMF verwendeten Normen sind mit dem zum Zeitpunkt der Erstellung der TREMF aktuellen Ausgabedatum referenziert.

(4) Verweise ohne vollständige Referenzierung (Quellenangabe wie „EMFV“) beziehen sich auf die aktuelle Fassung des verwiesenen Dokuments.

(5) Die EMFV enthält in Anhang 2 und Anhang 3 Tabellen mit Expositionsgrenzwerten und Auslöseschwellen. Der Forschungsbericht FB 451 des BMAS enthält die Tabellen 6.3 bis 6.6 mit Schwellenwerten zur Beeinflussung von aktiven kardialen und passiven Implantaten. Diese Tabellen sind auch in Teil 2 Anhang 1 zu finden. Um Doppelnennungen von Tabellenverweisen zu vermeiden und die Lesbarkeit zu unterstützen, sind in Tabelle 3.1 die entsprechenden Zuordnungen aufgeführt.

Tab. 3.1 Entsprechungstabelle für Tabellenummerierung zwischen EMFV, Forschungsbericht FB 451 und TREMF

TREMf (Teil 2 Anhang 1)	EMFV und FB 451
Anhang 2 EMFV	
A1.7	A2.1
A1.8	A2.2
A1.9	A2.3
A1.10	A2.4
A1.11	A2.5
A1.12	A2.6
A1.13	A2.7
A1.14	A2.8
A1.15	A2.9
A1.16	A2.10
A1.17	A2.11
Anhang 3 EMFV	
A1.18	A3.1
A1.19	A3.2
A1.20	A3.3
A1.21	A3.4
A1.22	A3.5
A1.23	Anmerkung 2 zu Tabelle A3.4
A1.24	Anmerkung 4 zu Tabelle A3.4
FB 451	
A1.25	6.3
A1.26	6.4
A1.27	6.5
A1.28	6.6

3.1 Anwendung der TREMF

(1) Arbeitsbereiche mit EMF-Exposition unterliegen der EMFV. Für diese Arbeitsbereiche und die dort tätigen Beschäftigten wird unterschieden (siehe auch Abbildung 3.1):

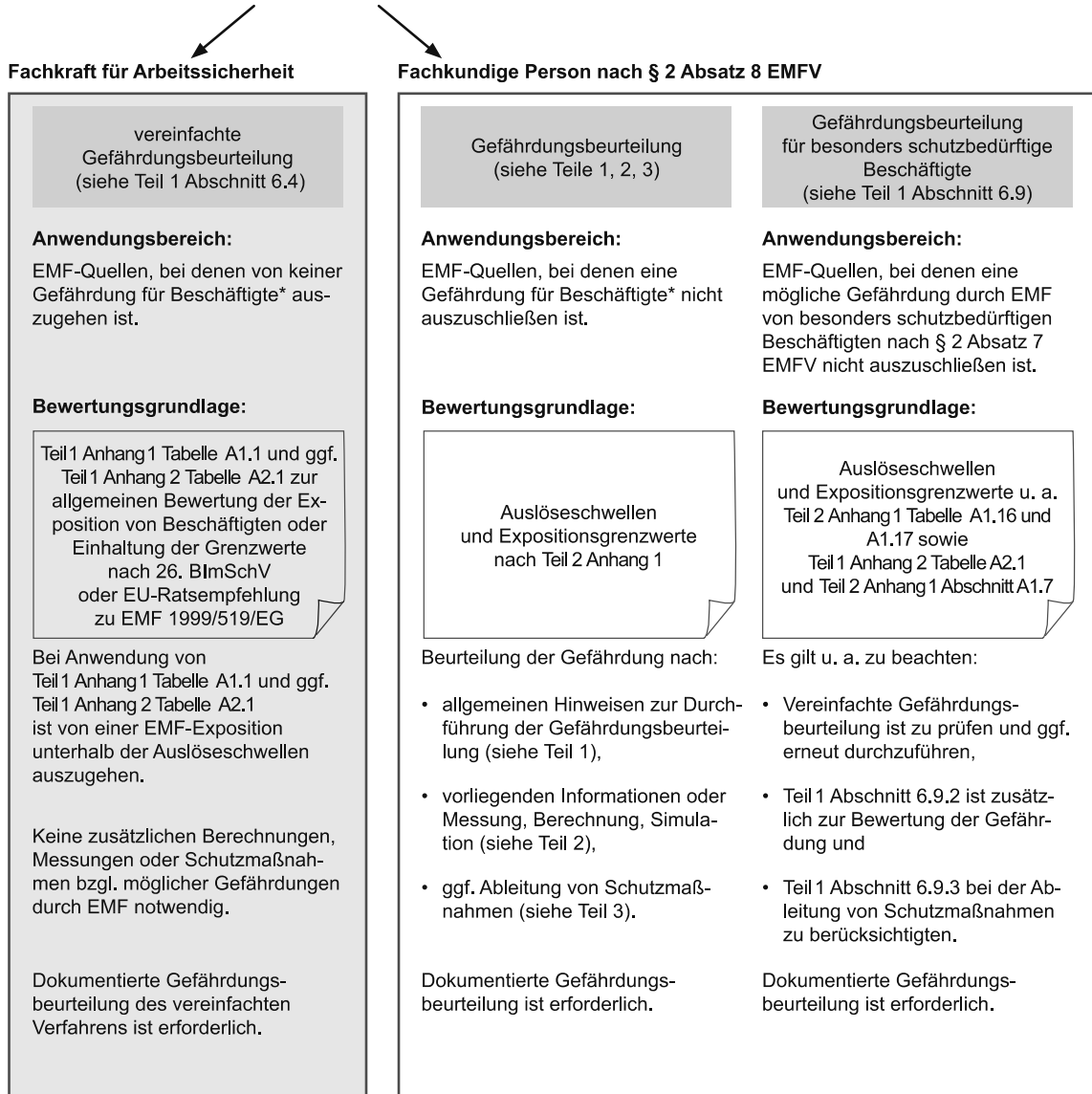
1. vereinfachte Gefährdungsbeurteilung (siehe Teil 1 Abschnitt 6.4),
2. Gefährdungsbeurteilung (siehe Teile 1, 2 und 3),
3. Gefährdungsbeurteilung für besonders schutzbedürftige Beschäftigte (siehe Teil 1 Abschnitt 6.9).

(2) Der Arbeitgeber stellt sicher, dass die Gefährdungsbeurteilung fachkundig geplant und durchgeführt wird. Ist der Arbeitgeber dazu nicht selbst in der Lage, kann eine Fachkraft für Arbeitssicherheit den Arbeitgeber hinsichtlich der Durchführung einer vereinfachten Gefährdungsbeurteilung nach EMFV unterstützen. Bei der Gefährdungsbeurteilung bzw. der Gefährdungsbeurteilung für besonders schutzbedürftige Beschäftigte können fachkundige Personen nach § 4 EMFV in Verbindung mit § 2 Absatz 8 EMFV den Arbeitgeber beraten.

Hinweis 1: Die Anforderungen der 26. BImSchV müssen für öffentlich zugängliche Bereiche eingehalten werden. Eine für diese Bereiche durchzuführende Gefährdungsbeurteilung kann die Ergebnisse der für diese Bereiche bereits durchgeführten Expositionsbewertungen ggf. berücksichtigen (siehe § 3 Absatz 1 Satz 7 EMFV). Werden für diese Bereiche Maßnahmen abgeleitet, ist § 6 Absatz 3 Nummer 2 EMFV zu berücksichtigen.

Hinweis 2: Werden die Werte aus den Anhängen 2 und 3 der EU-Ratsempfehlung zu EMF 1999/519/EG eingehalten, sind auch für besonders schutzbedürftige Beschäftigte (siehe Abschnitt 4.4) keine Maßnahmen erforderlich. Besteht hingegen ein großer Unterschied zwischen Effektiv- und Spitzenwert, insbesondere bei EMF mit nicht konstanter Leistungsabgabe, ist die Einhaltung der Schwellenwerte nach Teil 2 Anhang 1 Tabellen A1.25 bis A1.28 zu prüfen.

Unterstützung des Arbeitgebers bei der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung durch:



Fachkenntnisse nach rechts zunehmend

Abb. 3.1 Arten der Gefährdungsbeurteilung bei EMF-Exposition von Beschäftigten |
* Ausgenommen besonders schutzbedürftige Beschäftigte (siehe rechte Spalte)

3.2 Gliederung der TREMF

Abbildung 3.2 gibt einen Überblick über die Gliederung der TREMF:

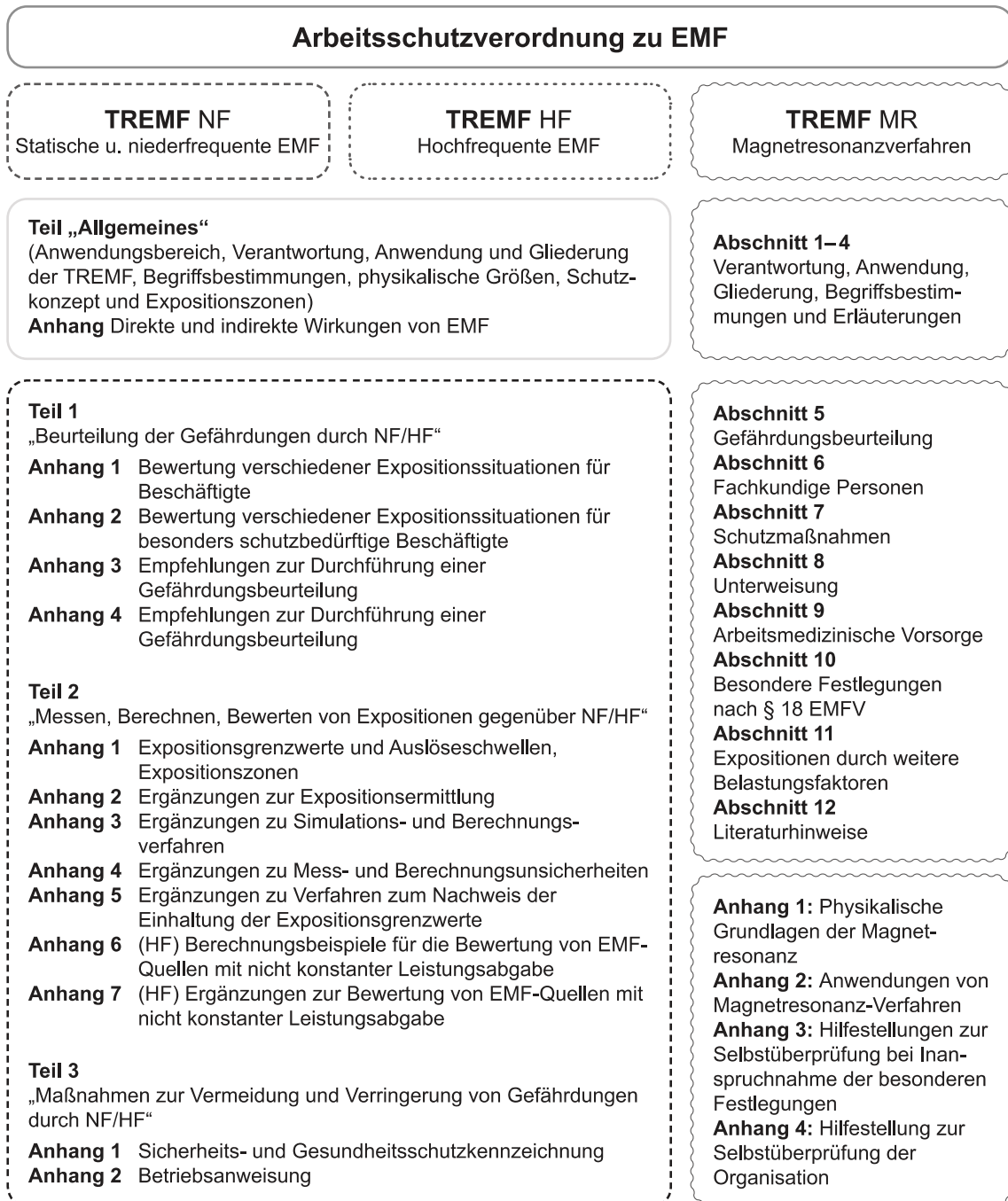


Abb. 3.2 Gliederung der TREMF

4 Begriffsbestimmungen und Erläuterungen

Es gelten die in § 2 EMFV festgelegten Begriffe.

4.1 Arbeitsplatz

Ein Arbeitsplatz im Sinne dieser TREMF ist ein Bereich, in dem der Beschäftigte im Rahmen seiner Arbeit tätig ist.

4.2 Auslöseschwellen (ALS)

(1) Auslöseschwellen sind nach § 2 Absatz 6 EMFV festgelegte Werte von direkt messbaren physikalischen Größen.

(2) Folgende ALS werden unterschieden:

1. bei Frequenzen von $0 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$:
 - a) für elektrische Felder zwischen unteren und oberen ALS (Vermeidung direkter und indirekter Wirkungen),
 - b) für magnetische Felder zwischen unteren ALS (Vermeidung sensorischer Wirkungen) und oberen ALS (Vermeidung gesundheitlicher Wirkungen) und
2. bei Frequenzen von $100 \text{ kHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$ die ALS für elektromagnetische Felder (Vermeidung thermischer Wirkungen).

4.3 Beschäftigte

Dem Anwendungsbereich der EMFV unterliegen nach § 2 Absatz 10 EMFV folgende Personen, sofern sie bei ihren Tätigkeiten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sein können:

1. Beschäftigte nach § 2 Absatz 2 ArbSchG und
2. den Beschäftigten gleichgestellte Personen:
 - a) Schülerinnen und Schüler,
 - b) Studierende, Praktikantinnen und Praktikanten sowie
 - c) sonstige, insbesondere an wissenschaftlichen Einrichtungen tätige Personen, z. B. Gastwissenschaftler.

Hinweis: Zum Schutz von Beschäftigten und denen gleichgestellten Personen unter 18 Jahren sind auch die entsprechenden Forderungen des Jugendarbeitsschutzgesetzes (JArbSchG) einzuhalten.

4.4 Besonders schutzbedürftige Beschäftigte

Zu besonders schutzbedürftigen Beschäftigten zählen nach § 2 Absatz 7 EMFV insbesondere Beschäftigte mit:

1. aktiven medizinischen Implantaten, insbesondere Herzschrittmachern,
2. passiven medizinischen Implantaten, bei denen eine Beeinflussung durch EMF möglich ist (z. B. durch Erwärmung oder Kraftwirkung),
3. medizinischen Geräten, die am Körper getragen werden, insbesondere Insulinpumpen,
4. sonstigen durch elektromagnetische Felder beeinflussbaren Fremdkörpern im Körper oder
5. eingeschränkter Thermoregulation, z. B. infolge von Medikamenteneinnahme.

Hinweis: Der Begriff „Körperhilfsmittel“ wird synonym für Implantate oder medizinische Geräte, die am Körper getragen werden, verwendet.

4.5 Betriebszustände

Die Betriebszustände der EMF-Quellen werden für die Gefährdungsbeurteilung genau definiert. In dieser TREMF wird zwischen dem Normalbetrieb und den von diesem abweichenden Betriebsarten unterschieden, wie z. B. Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten oder Einrichtungsvorgänge. In der Regel sind die vom Normalbetrieb abweichenden Betriebsarten mit einer erhöhten Gefährdung verbunden. Definierte Betriebsbedingungen sind eindeutig beschreibbare Betriebsweisen, wie z. B. Lastfälle.

4.5.1 Normalbetrieb

Normalbetrieb ist der Betrieb einer EMF-Quelle im gesamten Funktionsbereich, ohne z. B. Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten oder Einrichtungsvorgänge.

4.5.2 Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten, Einrichtungsvorgänge

Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten oder Einrichtungsvorgänge werden nach den vom Hersteller der EMF-Quelle mitgelieferten Informationen durchgeführt. Mit Tätigkeiten in diesen Betriebszuständen wird die vorgesehene Funktion der EMF-Quelle im Normalbetrieb sichergestellt.

4.6 Direkte Wirkungen

Direkte Wirkungen sind nach § 2 Absatz 3 EMFV die im menschlichen Körper durch dessen Anwesenheit in einem elektromagnetischen Feld unmittelbar hervorgerufenen Wirkungen. Dazu zählen:

1. thermische Wirkungen aufgrund von Energieabsorption aus elektromagnetischen Feldern im menschlichen Gewebe oder durch induzierte Körperströme in Extremitäten und
2. nichtthermische Wirkungen durch die Stimulation von Muskeln, Nerven oder Sinnesorganen. Diese Wirkungen können kognitive Funktionen oder die körperliche Gesundheit exponierter Beschäftigter nachteilig beeinflussen, durch die Stimulation von Sinnesorganen zu vorübergehenden Symptomen wie Schwindelgefühl oder Magnetophosphenen führen sowie das Wahrnehmungsvermögen oder andere Hirn- oder Muskelfunktionen beeinflussen und damit das sichere Arbeiten von Beschäftigten gefährden.

4.7 Eindringtiefe

Die Eindringtiefe bezeichnet die Weglänge im menschlichen Körpergewebe, nach der die betrachtete physikalische Feldgröße auf $1/e \sim 0,37 = 37\%$ ihres Ausgangswertes abgenommen hat.

Hinweis: Allein aus der Eindringtiefe kann nicht gefolgert werden, dass tiefer im Gewebe keine Wirkung mehr auftritt.

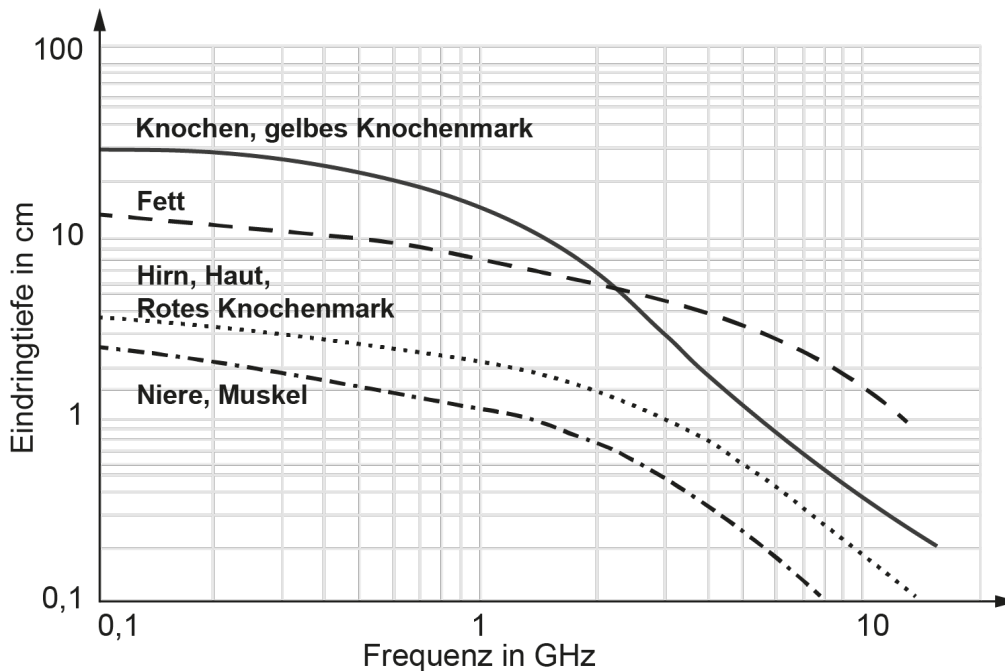


Abb. 4.1 Eindringtiefe in Abhängigkeit von der Frequenz und verschiedenen Gewebetypen (www.emf-portal.org)

4.8 Effektivwerte von Feldgrößen

(1) Der Effektivwert (G_{eff}) ist der quadratische zeitliche Mittelwert einer zeitveränderlichen Feldgröße (G):

$$G_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T_I} \int_0^{T_I} G^2(t) dt}, \quad \text{Gl. 4.1}$$

$$G_{\text{peak}} = k_s \cdot G_{\text{eff}}, \quad \text{Gl. 4.2}$$

mit

T_I Integrationszeit,

$G(t)$ Zeitfunktion von G ,

G_{peak} als Spitzenwert der Feldgröße und

k_s als Scheitelfaktor (Crest-Faktor).

Bei sinusförmigen Signalverläufen einer Frequenz beträgt $k_s = \sqrt{2}$.

(2) Effektivwerte finden im Sinne der EMFV Anwendung zur Bestimmung der Auslöseschwelle im Frequenzbereich von $100 \text{ kHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$ und betreffen folgende Feldgrößen: elektrische Feldstärke E , magnetische Feldstärke H , stationärer zeitveränderlicher Kontaktstrom I_K , induzierter Strom durch beliebige Gliedmaßen I_G .

4.9 Elektromagnetische Felder und mögliche Wirkungen

4.9.1 Elektromagnetische Felder (EMF)

Elektromagnetische Felder sind statische elektrische, statische magnetische oder zeitveränderliche elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder mit Frequenzen von $0 \text{ Hz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$ (siehe Abbildung 4.2). An Arbeitsplätzen können sich EMF hinsichtlich Anzahl der Quellen, Frequenzbereichen und Signalverläufen einzelner Quellen unterscheiden. Beispiele für Expositionen gegenüber EMF finden sich in Teil 1 Anhänge 3 und 4.

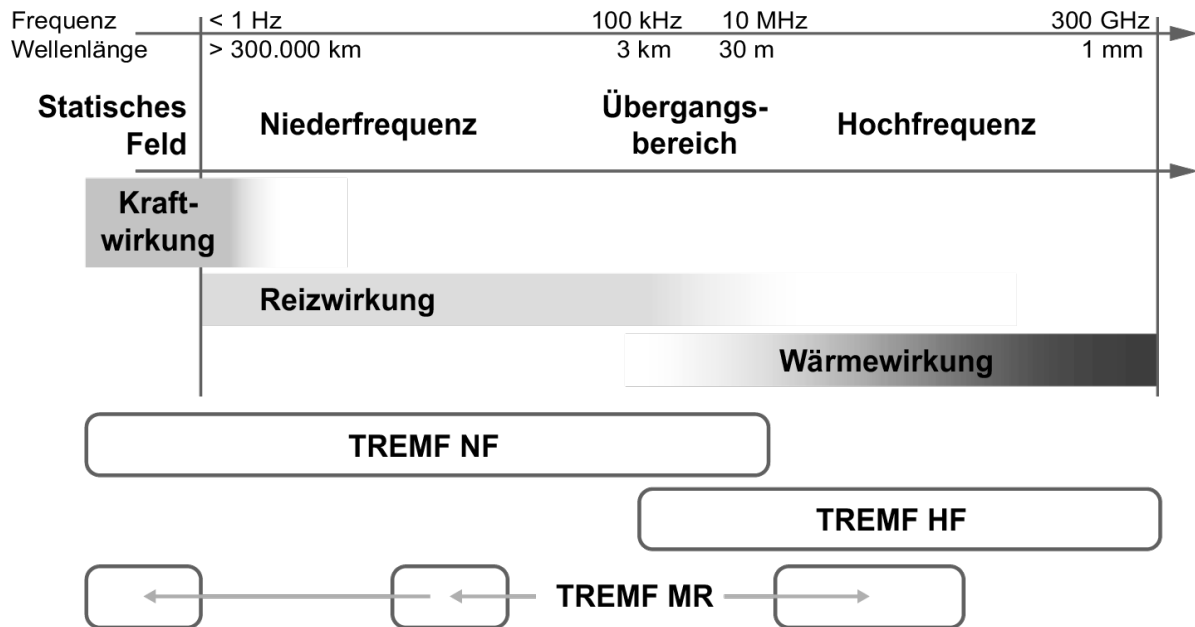


Abb. 4.2 Frequenzbereiche und Wirkungen elektromagnetischer Felder, Anwendungsbereiche der TREMF

4.9.2 Mögliche Wirkungen von EMF

Abbildung 4.3 gibt einen Überblick über mögliche Wirkungen von EMF auf den Menschen:

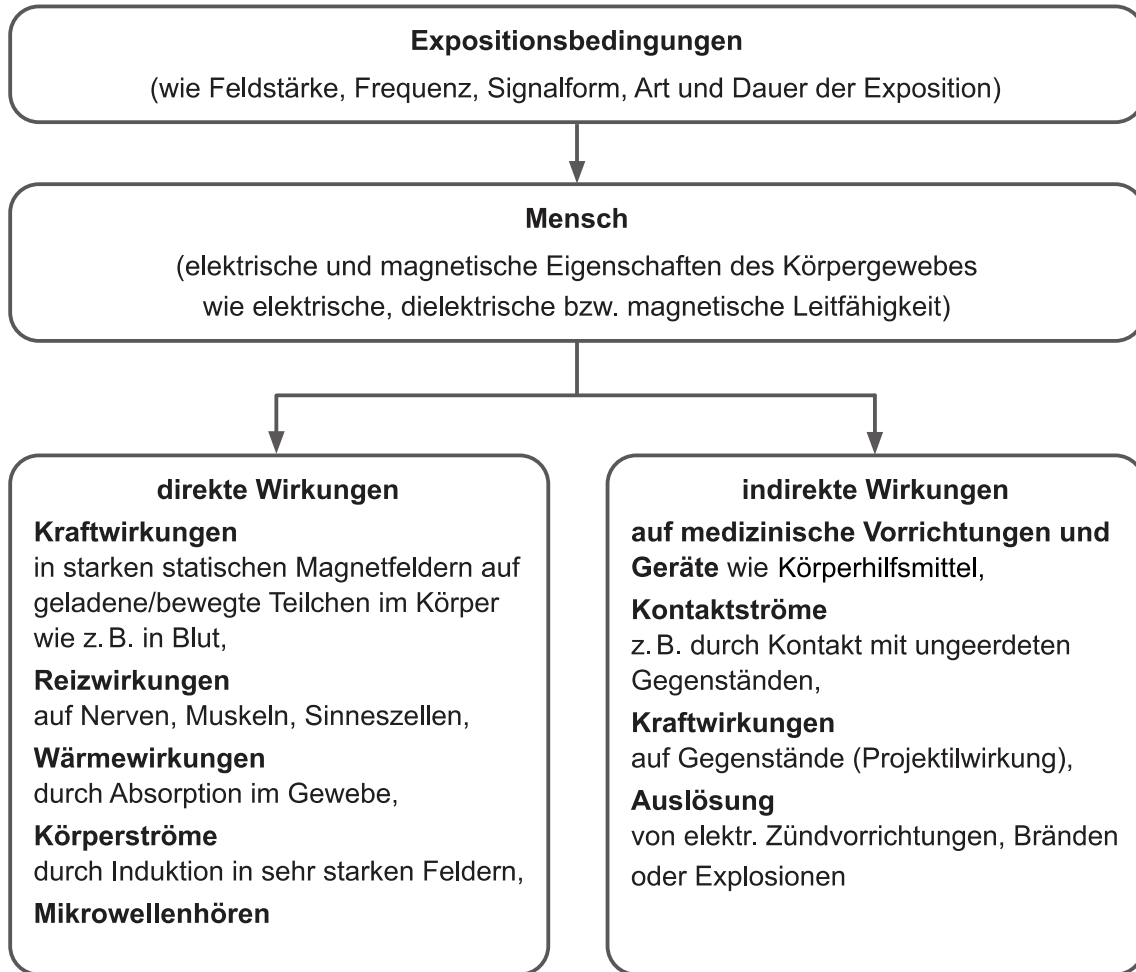


Abb. 4.3 Mögliche Wirkungen von EMF auf den Menschen

4.10 Emission

Emissionen im Sinne der EMFV sind die von einer EMF-Quelle ausgehenden EMF (siehe Abbildung 4.4).

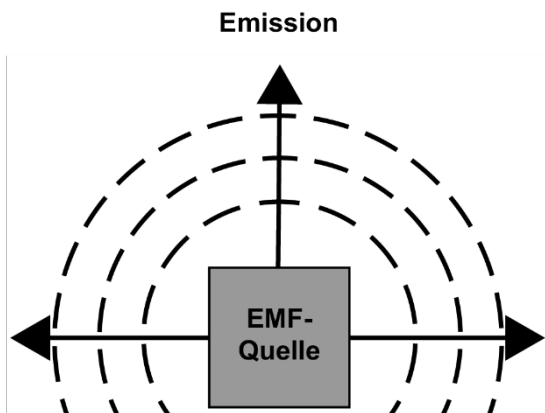


Abb. 4.4 Grafische Darstellung von Emission

4.11 EMF-Quelle

(1) EMF-Quellen im Sinne dieser TREMF sind alle Anlagen, Systeme, Geräte und Gegenstände, die EMF im Frequenzbereich von $0 \text{ Hz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$ erzeugen, verstärken bzw. übertragen.

(2) Es ist möglich, EMF-Quellen hinsichtlich ihrer Mobilität zu unterscheiden:

Ortsfeste EMF-Quellen sind stationäre EMF-Quellen und stationär betriebene EMF-Quellen:

1. Stationäre EMF-Quellen sind alle ortsunveränderlichen EMF-Quellen.
2. Stationär betriebene EMF-Quellen sind alle EMF-Quellen, die während ihres bestimmungsgemäßen Betriebes keine Ortsveränderung erfahren, aber grundsätzlich ortsveränderlich sind.
3. Als mobile EMF-Quelle gelten alle EMF-Quellen, die sich bei bestimmungsgemäßem Gebrauch in Bewegung befinden und in der Lage sind, währenddessen EMF zu erzeugen.

Hinweis: Für den Schutz von Beschäftigten, die sich mit mobilen EMF-Quellen fortbewegen, gelten sinngemäß die Anforderungen für stationäre EMF-Quellen, da sich die EMF-Quelle in Bezug zu den Beschäftigten in Ruhe befindet.

4.12 Erdung

Als Erdung wird eine elektrische Verbindung zwischen leitenden Komponenten (z. B. Einhausung) und dem leitfähigen Erdreich bezeichnet, die einen Potentialausgleich (siehe Abschnitt 4.33) sicherstellt. Im Sinne dieser TREMF wird sie zum Schutz vor Gefährdungen durch Entladungen oder Kontaktströme angewendet.

4.13 Exposition (Art, Ausmaß und Dauer)

(1) Exposition im Sinne dieser TREMF bedeutet, dass Beschäftigte an ihrem Arbeitsplatz EMF ausgesetzt sind (siehe Abbildung 4.5, links). Die Exposition umfasst die Einwirkung auf den menschlichen Körper als auch auf medizinische Vorrichtungen oder Geräte einschließlich Herzschrittmachern sowie anderer aktiver oder passiver Implantate, am Körper getragener medizinischer Geräte oder sonstiger durch EMF beeinflussbarer Fremdkörper oder Materialien im Körper.

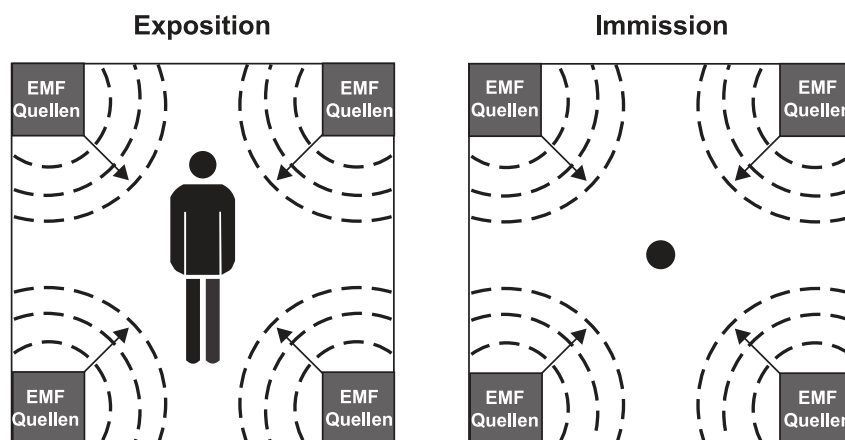


Abb. 4.5 Grafische Darstellung von Exposition (links) und Immission (rechts)

Hinweis 1: Unter Immission versteht man im Allgemeinen das Einwirken von EMF an einem Punkt (siehe Abbildung 4.5, rechts). Die Beurteilung der Exposition der Allgemeinbevölkerung (Immission von EMF) erfolgt nach der 26. BImSchV.

Hinweis 2: In dieser TREMF wird Expositionsmessung und Messung von Feldstärken bzw. Leistungsdichten synonym verwendet.

- (2) Die Art der Exposition beschreibt das für die Beurteilung entscheidende Feld, z. B. ein statisches elektrisches, statisches magnetisches oder zeitveränderliches elektrisches, magnetisches oder elektromagnetisches Feld, einschließlich dessen räumlicher Verteilung am Arbeitsplatz und über den Körper der Beschäftigten (Ganz- oder Teilkörperexposition).
- (3) Unter dem Ausmaß ist die Höhe der Exposition gegenüber EMF zu verstehen. Je nach Frequenzbereich und zu vermeidender Wirkung (Schutzziel) wird das Ausmaß durch die physikalischen Größen interne sowie externe elektrische Feldstärke, elektrische Ladung, stationärer zeitveränderlicher Kontaktstrom und dessen Entladungspuls, Leistungsdichte, magnetische Feldstärke, magnetische Flussdichte, spezifische Absorptionsrate, lokale spezifische Energieabsorption oder induzierter Strom durch eine Gliedmaße ausgedrückt.
- (4) Die Dauer der Exposition ist – im Unterschied zur täglichen Arbeitszeit – die tatsächliche Dauer der Einwirkung von EMF auf Beschäftigte während der Arbeitszeit.
- (5) Expositionsrelevante EMF sind solche EMF, die über eine vereinfachte Gefährdungsbeurteilung hinaus für eine Expositionsbeurteilung eines Arbeitsbereichs herangezogen werden müssen. Expositionsrelevant sind EMF dann, wenn aufgrund der Art, des Ausmaßes und der Dauer der Exposition tatsächliche und mögliche Gefährdungen (siehe Abschnitt 4.41) zu erwarten sind. Hierbei umfasst der Arbeitsbereich auch die Verkehrswege zum Arbeitsbereich und die möglichen Flucht- und Rettungswege.

4.14 Expositionsgrenzwert (EGW)

- (1) Expositionsgrenzwerte nach § 2 Absatz 5 EMFV sind maximal zulässige Werte, die aufgrund von wissenschaftlich nachgewiesenen Wirkungen auf den menschlichen Körper festgelegt wurden und deren Einhaltung im Allgemeinen nicht direkt durch Messungen am Arbeitsplatz überprüfbar ist.
- (2) Es werden EGW für gesundheitliche und sensorische Wirkungen unterschieden.

Hinweis: Die EGW sind in Teil 2 Anhang 1 Abschnitte A1.3 und A1.5 aufgeführt.

4.14.1 Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen

EGW für gesundheitliche Wirkungen sind nach § 2 Absatz 5 Nummer 1 EMFV diejenigen Grenzwerte, bei deren Überschreitung gesundheitsschädliche Gewebeerwärmung oder Stimulation von Nerven- oder Muskelgewebe möglich sind.

4.14.2 Expositionsgrenzwert für sensorische Wirkungen

EGW für sensorische Wirkungen sind nach § 2 Absatz 5 Nummer 2 EMFV diejenigen Grenzwerte, bei deren Überschreitung reversible Stimulationen von Sinneszellen des Kopfes (insbesondere Augen, vestibuläres Organ, Zunge) oder geringfügige Veränderungen von Hirnfunktionen möglich sind (Magnetophosphene, Schwindel, Übelkeit, metallischer Geschmack, Mikrowellenhören).

4.15 Expositionszonen

- (1) In dieser TREMF werden unterschiedliche Expositionszonen definiert. Je nach Expositionszone ergeben sich verschiedene Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdungen von Beschäftigten durch EMF. In der betrieblichen Praxis ist es z. B. möglich, dass Bereiche, in denen Arbeitstätigkeiten ausgeführt werden, Verkehrswege oder Aufenthaltsbereiche jeweils getrennt bewertet und der jeweiligen Expositionszone zugeordnet werden.

(2) Expositionszonen sind eine Handlungshilfe zur Umsetzung der Festlegungen der EMFV. In der betrieblichen Praxis kann mittels Expositionszonen ein Bezug zwischen der Höhe der Exposition gegenüber EMF am Arbeitsplatz, den einzuhaltenden ALS und den erforderlichen Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten hergestellt werden.

4.16 Fachkundige Personen

Eine fachkundige Person nach § 2 Absatz 8 EMFV ist, wer über die erforderlichen Fachkenntnisse zur Ausübung einer in der EMFV bestimmten Aufgabe verfügt. Zu den Anforderungen zählen eine entsprechende Berufsausbildung oder Berufserfahrung jeweils in Verbindung mit einer zeitnah ausgeübten einschlägigen beruflichen Tätigkeit sowie die Teilnahme an spezifischen Fortbildungsmaßnahmen. Für eine detaillierte Beschreibung der Anforderungen an die Fachkunde siehe Teil 1 Abschnitt 3.4.

4.17 Fernfeld

Im Fernfeld einer EMF-Quelle besteht eine feste phasen- und betragsmäßige Beziehung zwischen elektrischer Feldstärke E und magnetischer Feldstärke H . Im Fernfeld stehen diese Vektoren senkrecht aufeinander. Im Fernfeld ist folgende Bedingung erfüllt:

$$\frac{|E|}{|H|} = 120 \pi \Omega \approx 377 \Omega \quad \text{Gl. 4.3}$$

(Unterschied zum Nahfeld siehe Abschnitt 4.30.)

4.18 Gewebefeldstärke

Siehe Abschnitt 5.2 Absatz 2 „Interne elektrische Feldstärke E_i “.

4.19 Hochfrequenzbereich

Im Hochfrequenzbereich werden EMF mit Frequenzen von $100 \text{ kHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$ zusammengefasst (siehe Abbildung 4.2).

Hinweis: Zu diesem Frequenzbereich gehört auch der Übergangsbereich (siehe Abschnitt 4.44).

4.20 Indirekte Wirkungen

Indirekte Wirkungen sind in Anlehnung an § 2 Absatz 4 EMFV die von EMF ausgelösten Wirkungen auf Gegenstände, welche die Gesundheit und die Sicherheit von Beschäftigten am Arbeitsplatz gefährden können. Dies betrifft insbesondere Gefährdungen durch

1. Einwirkungen auf medizinische Vorrichtungen oder Geräte einschließlich Herzschrittmachern sowie anderer aktiver oder passiver Implantate oder am Körper getragener medizinischer Geräte,
2. Einwirkungen auf metallischen Körperschmuck und verschiedene bei Tätowierungen bzw. Permanentmakeup verwendete Farbpigmente,
3. sonstige durch EMF beeinflussbare Fremdkörper im Körper,
4. Projektilwirkung ferromagnetischer Gegenstände in statischen Magnetfeldern,
5. Auslösung von elektrischen Zündvorrichtungen (Detonatoren),
6. Brände oder Explosionen durch die Entzündung von brennbaren Materialien aufgrund von Funkenbildung sowie
7. Entladungen und Kontaktströme.

4.21 Kognitive Funktionen

Kognitive Funktionen in Zusammenhang mit EMF umfassen die Informationsaufnahme aus der Umwelt und deren Verarbeitung, wie z. B. das Wahrnehmen, Erkennen oder Urteilen.

4.22 Kontakt

(1) Beim Kontakt zwischen einem Beschäftigten und dem in einem EMF befindlichen Gegenstand werden im Sinne der EMFV bei der Exposition gegenüber EMF zwei Kontaktarten unterschieden:

1. berührender Kontakt und
2. greifender Kontakt.

(2) Der greifende Kontakt (als bewusste Handlung) führt im Vergleich zum berührenden Kontakt (als unbeabsichtigte Handlung) zu einer größeren Kontaktfläche. Die Schwellen der Wahrnehmung und des Schmerzempfindens sind bei greifendem Kontakt im Vergleich zu berührendem Kontakt höher. Deshalb gibt es einen EGW für greifenden Kontakt und eine ALS für berührenden Kontakt (siehe auch Abschnitt 5.6).

(3) Beim Kontaktstrom werden zwei Mechanismen unterschieden:

1. Funkenentladung beim Entladungsstromimpuls (Dauer $T < 1$ ms) und
2. Dauer-Kontaktstrom.

(4) Die Frequenz des Dauer-Kontaktstroms hängt von der Frequenz des verursachenden elektrischen Feldes ab. Bei statischer Aufladung (z. B. bei Gleichstromfreileitungen, Folienbearbeitung) ist der Kontaktstrom ein kurzer Stromimpuls.

4.23 Kontrollierte Arbeitsbedingungen

Unter kontrollierten Arbeitsbedingungen bei statischen Magnetfeldern versteht man im Sinne der EMFV, dass:

1. der Zugang auf speziell unterwiesene und geschulte Beschäftigte beschränkt ist und
2. spezielle Arbeitspraktiken und Maßnahmen, insbesondere kontrollierte Bewegungen in Bereichen mit hohen räumlichen Magnetfeldgradienten, angewendet werden.

Hinweis: Bei magnetischen Flussdichten von $B > 2$ T können Schwindel, Übelkeit und Magnetophosphene auftreten. Wenn die Gefährdungsbeurteilung zeigt, dass Gefährdungen für die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten ausgeschlossen und sicheres Arbeiten gewährleistet ist, sind magnetische Flussdichten B bis 8 T zulässig.

4.24 Kurzzeitwirkungen

Als Kurzzeitwirkungen im Sinne der EMFV gelten wissenschaftlich nachgewiesene unmittelbar auftretende (akute) Wirkungen aufgrund der Exposition gegenüber EMF. Kurzzeitwirkungen umfassen direkte Wirkungen (thermische und nichtthermische Wirkungen) auf den Beschäftigten und indirekte Wirkungen, z. B. auf medizinische Geräte, chemische Stoffe oder Gegenstände.

4.25 Maßgebliche Veränderungen der Arbeitsbedingungen

Maßgebliche Veränderungen der Arbeitsbedingungen bzw. wesentliche Änderungen der Tätigkeit oder des Arbeitsplatzes können im Sinne der EMFV durch folgende Anlässe hervorgerufen werden:

1. feldrelevante Änderungen von Feldquellen,
2. den Einsatz neuer oder zusätzlicher Anlagen (Feldquellen) oder anderer Arbeitsmittel oder
3. die Änderung von Tätigkeiten, Arbeitsverfahren, Arbeitsumgebung oder Schutzmaßnahmen.

4.26 Maximalwert, räumlicher

Im Sinne der TREMF wird der räumliche Maximalwert als der im Körper des Beschäftigten (für EGW) oder am Arbeitsplatz (für ALS) auftretende betragsmäßig größte Wert der physikalischen Größe (z. B. Feldstärke) bezeichnet.

4.27 Medizinische Vorrichtungen und Geräte, Implantate

(1) Medizinische Vorrichtungen und Geräte umfassen im Sinne der EMFV aktive und passive medizinische Implantate oder am Körper getragene medizinische Geräte.

(2) Aktive medizinische Geräte und Implantate verfügen über eine Energiequelle und überwachen, unterstützen und/oder ersetzen Körperfunktionen. Hierzu zählen unter anderem Herzschrittmacher, Defibrillatoren, Cochlea- oder Brainstem-Implantate, Retina-Encoder, Neurostimulatoren, Insulinpumpen sowie Implantate zur Steuerung elektromechanischer Prothesen.

(3) Passive medizinische Geräte und Implantate werden eingesetzt, um zerstörte oder beschädigte Körperteile ganz oder teilweise zu ersetzen und die betroffene mechanische Funktion weitestgehend wiederherzustellen. Dazu zählen unter anderem Endoprothesen, Schienen und Stabilisatoren, Nägel und Schrauben, Stabilisatoren für Blutgefäße (Stents), Gefäßklammern (Clips), Herzklappen sowie Schädelplatten.

4.28 Mess- und Berechnungsunsicherheit

Die Mess- und Berechnungsunsicherheit ist ein dem Mess- oder Berechnungsergebnis zugeordneter Parameter, der die Streuung der Mess- oder Berechnungsgröße kennzeichnet. Für eine detaillierte Erläuterung siehe Teil 2 Anhang 4.

4.29 Mittelung, definierte räumliche

Als definierte räumliche Mittelung nach dem Stand der Technik (z. B. in Anmerkung 3 zu Teil 2 Anhang 1 Tabellen A1.13 und A1.14) wird ein Mittelungsverfahren auf Basis eines definierten Flächenelements verstanden. Größe und Form werden in TREMF NF Teil 2 Abschnitt 4.1.2 Absatz 3 beschrieben. Eine räumliche Mittelung über das gesamte vom Körper des Beschäftigten eingenommene Raumvolumen oder den gesamten vom Beschäftigten eingenommenen Arbeitsbereich ist nicht zulässig, wenn hierdurch eine Unterbewertung räumlicher Maxima in inhomogenen Feldern möglich ist.

4.30 Nahfeld

Im Nahfeld besteht kein fester phasen- und betragsmäßiger Zusammenhang zwischen elektrischer Feldstärke E und magnetischer Feldstärke H . Beide Komponenten müssen getrennt voneinander ermittelt werden (Unterschied zum Fernfeld siehe Abschnitt 4.17).

4.31 Nichtthermische Wirkungen

Nichtthermische Wirkungen oder Stimulationseffekte sind Stimulationen von Muskeln, Nerven oder Sinnesorganen (siehe Abschnitt 4.6 Nummer 2).

4.32 Niederfrequenzbereich

Im Niederfrequenzbereich werden EMF mit Frequenzen von $0 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$ zusammengefasst (siehe Abbildung 4.2).

Hinweis: Zu diesem Frequenzbereich gehört auch der Übergangsbereich (siehe Abschnitt 4.44).

4.33 Potentialausgleich

Der Potentialausgleich dient der Minimierung der Differenz zwischen unterschiedlichen elektrischen Potentialen und wird mittels elektrischer Verbindung zwischen (leitfähigen) Objekten hergestellt.

4.34 Projektilwirkung

Unter Projektilwirkung wird die Kraftwirkung eines Magnetfeldes auf ferro- und paramagnetische Gegenstände außerhalb des menschlichen Körpers verstanden (indirekte Wirkung). Im statischen magnetischen Feld einer EMF-Quelle kann es bei Objekten mit ferromagnetischen Inhaltsstoffen (Eisen, Nickel, Kobalt) oder paramagnetischen Eigenschaften nach Überwindung der Reibungskraft zu einer Beschleunigung in Richtung des stärkeren Feldes kommen. Es treten neben der Translationsbewegung (Wirkung der anziehenden Kraft) auch Drehbewegungen zur Ausrichtung der magnetischen Achse des Objektes entlang der Feldlinien auf (Wirkung eines Drehmoments).

Hinweis: Wenn ein Werkstück Quelle eines statischen magnetischen Feldes ist, so ist es ebenfalls als EMF-Quelle zu werten.

4.35 Reizwirkungen

Reizwirkungen sind gleichbedeutend mit Stimulationswirkungen und werden im Rahmen der nichtthermischen Wirkungen betrachtet (siehe Abschnitt 4.6 Nummer 2).

4.36 Spitzenwert, zeitlicher

Im Sinne der TREMF betragsmäßig größter Wert einer zeitabhängigen physikalischen Größe (z. B. Feld- oder Stromstärke) innerhalb eines zeitlich begrenzten Beobachtungsintervalls.

4.37 Statische Felder

(1) Als statische Felder werden EMF mit einer Frequenz von $f = 0 \text{ Hz}$ bezeichnet (siehe Abbildung 4.2).

(2) Für die Bewertung der physiologischen Wirkung auf Beschäftigte, die sich in einem statischen Magnetfeld bewegen, wird eine Ersatzfrequenz von ca. 10 Hz angenommen. Man spricht von einem quasistatischen Feld.

4.38 Stand der Technik

(1) Der Stand der Technik nach § 2 Absatz 9 EMFV ist der aktuelle Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zum Schutz der Gesundheit und zur Sicherheit der Beschäftigten gesichert erscheinen lässt.

(2) Bei der Bestimmung des Standes der Technik in Anlehnung an § 2 Absatz 9 EMFV sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg in der Praxis erprobt worden sind. Gleiches gilt für die Anforderungen an die Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene.

Hinweis: Für weitere Informationen zur Ermittlung des Standes der Technik wird auf Abschnitt 3.2 EmpfBS 1114 verwiesen.

4.39 STOP-Prinzip

Mit dem STOP-Prinzip werden die Maßnahmen für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit hierarchisch geordnet:

1. Vermeidung oder Minimierung von Gefährdungen durch EMF an Arbeitsplätzen durch andere geeignete Arbeitsverfahren, Arbeitsmittel oder Anlagen (**S**ubstitutionsprüfung),
2. **T**echnische Maßnahmen (z. B. Einhausung, Abschirmung, Interlocks),
3. **O**rganisatorische Maßnahmen (z. B. Zutrittsbeschränkungen),
4. **P**ersonenbezogene Maßnahmen (z. B. Persönliche Schutzausrüstung (PSA) oder verhaltensbasierte Maßnahmen).

Hinweis 1: Grundsätzlich ist es zweckmäßig, den Stand der Technik zur Vermeidung von Gefährdungen bereits bei der Einrichtung der Arbeitsstätte bzw. von Arbeitsplätzen zu berücksichtigen, siehe Teil 3 Abschnitt 10.

Hinweis 2: Zur Zeit der Drucklegung und Veröffentlichung dieser TREMF war am Markt keine PSA zum Schutz vor Gefährdungen durch EMF verfügbar.

4.40 Streufeld von Anlagen mit hohem statischen Magnetfeld ($B > 100$ mT)

Das Streufeld von Anlagen mit einem hohen statischen Magnetfeld ($B > 100$ mT) ist im Sinne der EMFV ein magnetisches Kraftlinienfeld in der Umgebung eines statischen Magneten, das außerhalb der Anlage (Feldquelle) auftritt und möglicherweise zu einer Projektilwirkung führt.

4.41 Tatsächliche und mögliche Gefährdungen

(1) Tatsächliche Gefährdungen nach § 1 Absatz 1 EMFV liegen vor, wenn bei beruflicher Exposition durch EMF EGW überschritten sind oder ein sicheres Arbeiten nicht möglich ist, z. B. aufgrund indirekter Wirkungen.

(2) Mögliche Gefährdungen nach § 1 Absatz 1 EMFV liegen vor, wenn bei Tätigkeiten am Arbeitsplatz die EGW überschritten werden können oder nicht ausgeschlossen werden kann, dass aufgrund der EMF am Arbeitsplatz Beschäftigte gefährdet werden können.

4.42 Thermische Wirkungen

Thermische Wirkungen sind gleichbedeutend mit Wärmewirkungen (siehe Abschnitt 4.6 Nummer 1).

4.43 Thermoregulation

Thermoregulation umfasst Vorgänge im menschlichen Körper zur Aufrechterhaltung der Körperkerntemperatur von ca. 37 °C unabhängig von der Umgebung. Die Thermoregulation erfolgt einerseits durch Wärmebildung, z. B. Erhöhung der Durchblutung, oder andererseits durch Wärmeabgabe, z. B. Schweißbildung.

Die Thermoregulation kann z. B. durch Medikamenteneinnahme eingeschränkt sein oder aufgrund von Umweltbedingungen (Lufttemperatur/-feuchte) in ihrer Wirkung vermindert sein.

4.44 Übergangsbereich

Im Übergangsbereich werden EMF mit Frequenzen von $100 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$ zusammengefasst (siehe Abbildung 4.2). Dieser Frequenzbereich gehört sowohl zum Niederfrequenzbereich (siehe Abschnitt 4.32) als auch zum Hochfrequenzbereich (siehe Abschnitt 4.19). Als physiologische Wirkungen sind im Übergangsbereich sowohl Reizwirkungen als auch Wärmewirkungen bekannt, d. h., im Übergangsbereich müssen die EGW für thermische und nicht-thermische Wirkungen gleichzeitig eingehalten werden.

4.45 Verfahren zur Bewertung im Zeitbereich

- (1) Als Verfahren zur Bewertung im Zeitbereich nach dem Stand der Technik können z. B. die Methode der gewichteten Spitzenwerte (weighted peak method time domain, WPM-z) und die Zeitbereichs-Bewertungsmethode (ZBM) verwendet werden. Beides sind Verfahren zur Bewertung beliebiger nicht sinusförmiger Signalformen, auch als gepulste Felder bezeichnet, im Zeitbereich. Sie werden für die Beurteilung von nichtthermischen Wirkungen für Frequenzen von $0 < f \leq 10 \text{ MHz}$ angewendet.
- (2) Die WPM-z berücksichtigt die Amplituden und die relative Phasenlage der verschiedenen Frequenzkomponenten.
- (3) Die ZBM ermöglicht eine Bewertung durch Annäherung des zeitlichen Verlaufs eines Signals an sinus-, trapez-, dreieckförmige oder exponentielle Verläufe.

4.46 Wärmewirkungen

Wärmewirkungen sind gleichbedeutend mit thermischen Wirkungen (siehe Abschnitt 4.6 Nummer 1).

4.47 Wesentliche Änderungen der Tätigkeit oder des Arbeitsplatzes

Wesentliche Änderungen der Tätigkeit oder des Arbeitsplatzes sind gleichbedeutend mit maßgeblichen Veränderungen der Arbeitsbedingungen (siehe Abschnitt 4.25).

4.48 Zündvorrichtungen, elektrische (Detonatoren)

Im Sinne der TREMF Zündanlagen, die durch EMF beeinflusst werden können. Zündanlagen umfassen nach Nummer 2.23 SprengTR 310 alle Komponenten, die zur planmäßigen Zündung von Sprengungen erforderlich sind (z. B. Zünder, Zündgeräte, Verzögerer).

Hinweis: Für weitere Informationen siehe SprengG, GefStoffV und SprengTR 310.

5 Physikalische Größen

5.1 Berührungsspannung U

Die Berührungsspannung U ist im Sinne dieser TREMF eine durch EMF induzierte oder influenzierte Spannung zwischen leitfähigen Teilen, wenn diese von einem Menschen berührt werden können. Sie wird angegeben in Volt (V).

5.2 Elektrische Feldstärke E (externe E_e , interne E_i)

- (1) Die elektrische Feldstärke E ist eine Vektorgröße, welche die Fähigkeit beschreibt, eine Kraft auf ein geladenes Teilchen ungeachtet seiner Bewegung im Raum auszuüben. Sie wird angegeben in Volt pro Meter (V/m).

(2) Es wird zwischen der externen elektrischen Feldstärke E_e eines in der Umgebung auftretenden elektrischen Feldes und der internen elektrischen Feldstärke E_i , wie sie im Körper (in situ, Gewebefeldstärke) infolge einer Exposition gegenüber der Umgebungsfeldstärke auftritt, unterschieden. Es gilt:

$$E_i = \frac{k \cdot \varepsilon_0 \cdot 2\pi \cdot f}{\kappa} \cdot E_e \quad \text{Gl. 5.1}$$

mit

k Feldverzerrungsfaktor,

ε_0 Dielektrizitätskonstante (im Vakuum), mit $\varepsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 \cdot c_0^2} \approx 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{A}\cdot\text{s}}{\text{V}\cdot\text{m}}$,

f Frequenz des Feldes in Hertz (Hz) und

κ mittlere elektrische Leitfähigkeit der/des Körpergewebe(s) in Siemens pro Meter (S/m).

5.3 Elektrische Ladung Q

Die elektrische Ladung Q ist die physikalische Größe, die zur Beschreibung von transienten Kontaktströmen verwendet und in Coulomb (C) angegeben wird.

5.4 Entladungspuls

Der Entladungspuls beschreibt den transienten, zeitabhängigen Energieübergang in Form eines Kontaktstroms I_K .

5.5 Entladungsenergie W

Die Entladungsenergie W ist die bei einem Entladungspuls eines Kontaktstroms I_K übertragene Energie. Sie wird in Joule (J) angegeben.

5.6 Kontaktstrom I_K

(1) Der Kontaktstrom I_K bezeichnet einen Strom, der beim Kontakt zwischen einem Beschäftigten und einem Gegenstand in einem EMF fließt. Er wird in Ampere (A) angegeben.

Der Kontaktstrom I_K entsteht hierbei nicht aufgrund galvanischer Kopplung mit stromführenden Leitern oder unter Spannung stehender Teile. Er wird hervorgerufen aufgrund der Ableitung des externen EMF durch den Beschäftigten bzw. durch im EMF befindliche Gegenstände (induktive oder kapazitive Kopplung).

(2) Beim Kontakt kann es zu einem transienten (vorübergehenden) oder einem stationären (dauerhaften) Kontaktstrom kommen.

5.7 Körperstrom I

Der Körperstrom I ist im Sinne dieser TREMF ein durch den Körper fließender Strom, der durch zeitveränderliche magnetische (Induktion) oder elektrische Felder (kapazitive Einkopplung, Influenz) hervorgerufen wird. Er wird in Ampere (A) angegeben.

5.8 Leistungsdichte S und S_{eq}

(1) Die Leistungsdichte S nach Anhang 1 EMFV ist der Betrag des Kreuzprodukts der elektrischen Feldstärke E (V/m) und magnetischen Feldstärke H (A/m). Sie wird angegeben in Watt pro Quadratmeter (W/m^2).

(2) Die Leistungsdichte S_{eq} ist die über die Impulsbreite gemittelte Leistungsdichte.

5.9 Magnetische Feldstärke H

Die magnetische Feldstärke H ist eine Vektorgröße, die neben der magnetischen Flussdichte B zur Beschreibung des magnetischen Feldes in jedem Raumpunkt dient. Sie wird angegeben in Ampere pro Meter (A/m).

Hinweis: Die magnetische Flussdichte B und die magnetische Feldstärke H stehen gemäß Gleichung 5.2 im Zusammenhang:

$$H = \frac{1}{\mu_0 \cdot \mu_r} \cdot B \quad \text{Gl. 5.2}$$

mit

μ_0 magnetische Feldkonstante, mit $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{V}\cdot\text{s}}{\text{A}\cdot\text{m}}$ und

μ_r Permeabilitätszahl (für Luft, Wasser, biologisches Gewebe $\mu_r \approx 1$)

5.10 Magnetische Flussdichte B

Die magnetische Flussdichte B ist eine Vektorgröße, aus der sich eine Kraft auf bewegte Ladungen ergibt. Sie wird in Tesla (T) angegeben (siehe Hinweis unter Abschnitt 5.9).

5.11 Spezifische Absorptionsrate SAR, lokale und Ganzkörper-SAR

(1) Die spezifische Absorptionsrate SAR ist nach Anhang 1 EMFV die über den ganzen Körper oder Teile gemittelte Rate, mit der Leistung je Masseneinheit des Körpergewebes absorbiert wird. Sie wird in Watt pro Kilogramm (W/kg) angegeben.

(2) Die Ganzkörper-SAR ist die physikalische Größe, um Wärmewirkungen zu einer Exposition von EMF in Beziehung zu setzen. Neben der Ganzkörper-SAR sind lokale SAR-Werte notwendig, um übermäßige Energiekonzentrationen in kleinen Körperbereichen infolge lokaler Exposition zu bewerten und zu begrenzen.

5.12 Spezifische Absorption SA

Die spezifische Absorption SA ist nach Anhang 1 EMFV die je Masseneinheit biologischen Gewebes absorbierte Energie. Sie wird angegeben in Joule pro Kilogramm (J/kg). In der EMFV wird sie zur Festlegung von Grenzen für Wirkungen gepulster elektromagnetischer Felder im Frequenzbereich von $0,3 \text{ GHz} \leq f \leq 6 \text{ GHz}$ (z. B. Mikrowellenhören) benutzt.

5.13 Strom durch die Gliedmaßen I_G

Wenn Beschäftigte EMF im Frequenzbereich von $10 \text{ MHz} \leq f \leq 110 \text{ MHz}$ ausgesetzt sind und mit einem Gegenstand in diesem EMF in Kontakt kommen, so besteht die Möglichkeit, dass ein Strom I_G durch die Gliedmaßen fließt. Solch ein Strom I_G kann auch kapazitiv in den Körper eingekoppelt werden. Er wird in Ampere (A) angegeben.

6 Schutzkonzept – Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen

Dieser Abschnitt beschreibt das der EMFV zugrundeliegende Schutzkonzept aus Expositionsgrenzwerten (EGW) und Auslöseschwellen (ALS) und damit verknüpften Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdungen von Beschäftigten durch elektromagnetische Felder.

Zum Schutz der Beschäftigten vor EMF wird in der EMFV ein mehrstufiges Schutzkonzept eingeführt. Es umfasst EGW und ALS (siehe Abbildung 6.1).

EGW sind maximal zulässige Werte und beziehen sich auf die Wirkungen von EMF auf den Körper. EGW liegen aufgrund der Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren unterhalb der Schwellen für nachgewiesene sensorische oder gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen. Die Einhaltung der EGW ist in der Regel nicht direkt am Arbeitsplatz nachweisbar und lässt sich nur durch aufwändige Messungen an Körperphantomen oder Modellrechnungen nachweisen.

Um die Gefährdungen am Arbeitsplatz anhand messbarer physikalischer Größen zu bewerten, werden aus den EGW ALS konservativ abgeleitet. Das heißt, werden die ALS eingehalten, so werden die EGW auch bei ungünstigsten Expositionsbedingungen nicht überschritten. Um die Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung zu vereinfachen, wurden mit dem Schutzkonzept obere und untere ALS für direkte nichtthermische Wirkungen eingeführt (siehe Abbildung 6.1). Mit Einhaltung der unteren ALS werden direkte und indirekte Wirkungen von EMF, außer auf Implantate, ausgeschlossen. Im Frequenzbereich, in dem thermische Wirkungen auftreten, wird nur eine ALS verwendet.

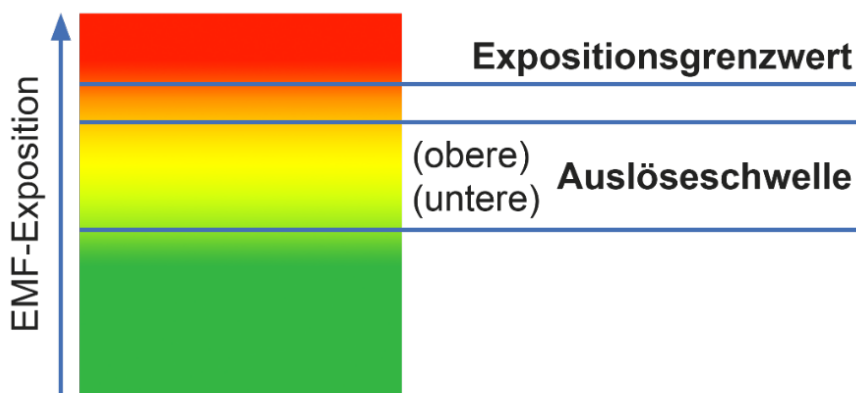


Abb. 6.1 Allgemeine Übersicht über das Schutzkonzept der EMFV (überwiegende Zahl der Arbeitsplätze mit Expositionen gegenüber EMF liegt unterhalb der unteren Auslöseschwelle)

Mittels EGW und ALS wird der Schutz vor direkten Wirkungen (nichtthermischen und thermischen Wirkungen) und indirekten Wirkungen (z. B. Kontaktströmen) gewährleistet. Nach dem gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnisstand sind Beschäftigte bei Einhaltung der Festlegungen der EMFV vor den gesundheitsschädlichen Wirkungen von EMF geschützt.

7 Expositionszonenkonzept

(1) Zur vereinfachten Anwendung in der betrieblichen Praxis können aus den Anforderungen der EMFV Bereiche zum Schutz der Beschäftigten abgeleitet werden. Diese Bereiche werden als Expositionszonen bezeichnet. Expositionszonen stellen eine Handlungshilfe zur Umsetzung des Schutzkonzepts der EMFV dar. Mittels Expositionszonen wird der Bezug zwischen der Höhe der EMF-Exposition und der möglichen Wirkung auf die Beschäftigten (siehe Anhang 1), den einzuhaltenden ALS und den erforderlichen Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten (siehe Teil 3) hergestellt. Aufgrund der Frequenzabhängigkeit der ALS sind manche Expositionszonen nur in bestimmten Frequenzbereichen vorhanden (siehe Abbildung 7.1 für elektrische Felder und Abbildung 7.2 für magnetische Felder). Die in den einzelnen Expositionszonen durchzuführenden Maßnahmen bauen aufeinander auf. Das Expositionszonenkonzept gilt nur für direkte Wirkungen von EMF und Wirkungen auf Implantate im Sinne des Forschungsberichts FB 451. Andere indirekte Wirkungen werden nicht berücksichtigt.

Hinweis 1: Technische Normen und weitere Veröffentlichungen enthalten möglicherweise auf anderen Rechtsnormen basierende Zonenbezeichnungen oder Zonenkonzepte, wie z. B. bei der Anwendung von Magnetresonanzverfahren oder Zonen explosionsgefährdeter Bereiche.

Hinweis 2: Wird das Expositionszonenkonzept auf die Bewertung nichtthermischer Wirkungen von magnetischen Feldern im Frequenzbereich mit $20 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$ angewendet, können die abgeleiteten Maßnahmen ggf. nicht verhältnismäßig sein. In diesem Fall wird empfohlen, eine fachkundige Bewertung gegen die oberen ALS bzw. ALS für die Exposition von Gliedmaßen durchzuführen.

(2) Die folgenden Unterabschnitte geben eine allgemeine Übersicht über die Expositionszonen. Die detaillierte Beschreibung der Expositionszonen und der Gefahrenzone erfolgt in Teil 1 Abschnitt 4.

(3) Insgesamt sind vier Expositionszonen sowie die Gefahrenzone vorgesehen. Hierbei hat Expositionszone 0 die geringste Exposition. Die Grundlage für die Ableitung der Expositionszonen bilden die ALS der EMFV. Die Bewertung der Sicherheit von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten, insbesondere der möglichen Gefährdungen für Implantatträger, erfolgt nach Teil 2 Anhang 1 Abschnitt A1.7.

(4) Das Expositionszonenkonzept kann auch auf Dritte, wie Beschäftigte von Fremdfirmen oder die Allgemeinbevölkerung (z. B. Besucher), angewendet werden. Hierbei sind z. B. die Regelungen der 26. BImSchV oder zur Geräte- und Anlagensicherheit auf Anwendbarkeit zu prüfen und ggf. anzuwenden (siehe Hinweise in Abschnitt 7.1).

(5) Werden alternativ EGW zur Bewertung der Exposition herangezogen oder EMF-Quellen mit nicht konstanter Leistungsabgabe bewertet, ist die hier vorgestellte vereinfachte Herangehensweise nicht anwendbar. Für die Bewertung:

1. der Exposition mittels EGW siehe Teil 1 Abschnitt 6.5 und Teil 2 Abschnitt 9,
2. von EMF-Quellen mit nicht konstanter Leistungsabgabe siehe Teil 2 Abschnitt 8 sowie Teil 2 Anhang 2 Abschnitt A2.2.

Hinweis: Im Frequenzbereich von $100 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$ ist eine Bewertung von nicht thermischen Wirkungen nach TREMF NF und von thermischen Wirkungen nach dieser Technischen Regel zu prüfen und ggf. durchzuführen.

7.1 Expositionszone 0

Die zu bewertende Exposition liegt in Abhängigkeit von der Frequenz unterhalb der Schwellenwerte nach Teil 2 Anhang 1 Abschnitt A1.7 zur Gewährleistung der Sicherheit von Beschäftigten mit Implantaten im Sinne des Forschungsberichts FB 451 und der unteren ALS¹ bzw. der ALS für thermische Wirkungen². Bei Einhaltung dieser Schwellen liegt eine vergleichsweise geringe Exposition vor. In der Expositionszone 0 sind weder für Beschäftigte mit Implantaten gemäß Forschungsbericht FB 451 noch für besonders schutzbedürftige Beschäftigte technische Schutzmaßnahmen erforderlich. Die Pflicht zur Unterweisung nach § 19 EMFV bleibt hiervon unberührt.

Hinweis 1: Muss der Arbeitgeber aus betrieblichen Gründen (siehe Abschnitt 3.1) z. B. die Grenzwerte nach Anhängen 1 bis 3 26. BImSchV oder nach Anhängen 2 und 3 EU-

¹ Elektrische Felder: Schnittpunkt von Schwellenwert nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.25 und unterer ALS nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.13 bei $f \approx 1,253 \text{ kHz}$

² Magnetische Felder: Schnittpunkt von Schwellenwert nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.26 und ALS für thermische Wirkungen nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.21 bei $f \approx 138,095 \text{ kHz}$

Ratsempfehlung zu EMF 1999/519/EG einhalten, so kann er die Expositionszone 0 um eine Unter-Expositionszone erweitern, z. B. Expositionszone 0_{Allgemeinbevölkerung}.

Hinweis 2: Die verschiedenen Bewertungsgrundlagen (Schwellenwerte, verschiedene ALS) für Expositionszone 0 sind in Abbildung 7.1 (für elektrische Felder) und Abbildung 7.2 (für magnetische Felder) durch unterschiedliche Linienarten gekennzeichnet (siehe korrespondierende Legenden).

Hinweis 3: Andere indirekte Gefährdungen durch EMF und andere Gefährdungsfaktoren, mit Ausnahme der Beeinflussung von Implantaten gemäß Forschungsbericht FB 451, werden im Expositionszonekonzept nicht berücksichtigt und müssen gesondert betrachtet werden, z. B. Brand und Explosion durch elektrischen Überschlag.

7.2 Expositionszone 1

(1) Werden die Schwellenwerte nach Teil 2 Anhang 1 Tabellen A1.25 und A1.26 sowie die uALS (untere Auslöseschwelle) für statische Magnetfelder nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.16 überschritten, aber die ALS nach Teil 2 Anhang 1 Tabellen A1.13 und A1.14 eingehalten, wird der Bereich in Abhängigkeit von der Frequenz der Expositionszone 1 zugeordnet. Möglicherweise beeinflusst die zu erwartende Exposition Implantate im Sinne des Forschungsberichts FB 451 unzulässig, weswegen Schutzmaßnahmen durchgeführt werden müssen. Im Fokus der Schutzmaßnahmen stehen besonders schutzbedürftige Beschäftigte, insbesondere Träger von aktiven Implantaten im Sinne des Forschungsberichts FB 451. Eine individuelle Bewertung der Störbeeinflussung aktiver Implantate kann erforderlich sein (siehe Teil 1 Abschnitt 6.9 sowie § 9 EMFV).

(2) Treten elektrische Felder auf, werden zudem die Gefährdungen durch Entladungen und Kontaktströme berücksichtigt.

(3) Bei statischen magnetischen Feldern mit $B > 100$ mT werden die Gefährdungen durch Projektilwirkung bewertet (siehe Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.17).

7.3 Expositionszone 2 (nur für sensorische Wirkungen)

Bereiche werden in Abhängigkeit von der Frequenz als Expositionszone 2 klassifiziert, wenn die untere ALS überschritten, aber die obere ALS bzw. die ALS für thermische Wirkungen eingehalten wird. Im Vordergrund stehen Schutzmaßnahmen, um sensorische Wirkungen (siehe Abschnitt 4.14.2) zu vermeiden. Maßnahmen zum Schutz sind für alle Beschäftigten durchzuführen und bauen auf denen der Expositionszone 1 auf. Das heißt, es sind zusätzlich zu den Schutzmaßnahmen aus Expositionszone 1 weitere Schutzmaßnahmen aufgrund der Überschreitung der unteren ALS durchzuführen.

7.4 Expositionszone 3 (nur für nichtthermische Wirkungen)

Die Expositionszone 3 tritt nur bei niederfrequenten magnetischen Feldern auf. Bei Überschreitung der oberen ALS und Einhaltung der ALS für die Exposition von Gliedmaßen wird der Bereich als Expositionszone 3 klassifiziert. Sie gilt nur für die lokale Exposition von Gliedmaßen.

Im Vordergrund stehen hier Maßnahmen, um die Exposition auf die Gliedmaßen zu beschränken. Die durchzuführenden Maßnahmen zum Schutz aller Beschäftigten bauen auf denen der Expositionszone 2 auf.

7.5 Gefahrenzone

Wird das Expositionszonenkonzept angewendet und lässt sich die Exposition nicht den Expositionszonen 0 bis 3 zuordnen, stellt dies eine nach dem Expositionszonenkonzept unzulässige Exposition dar. Aufgrund der zu erwartenden Expositionshöhe ist der Aufenthalt von Beschäftigten (Ganzkörper oder Gliedmaßen) in diesen Bereichen nach diesem Zonenkonzept nicht zulässig.

Hinweis: Der Aufenthalt von Beschäftigten in der Gefahrenzone ist möglicherweise zulässig, wenn ein Nachweis der Einhaltung der EGW für gesundheitliche Wirkungen (siehe Teil 1 Abschnitt 6.5) erbracht wurde.

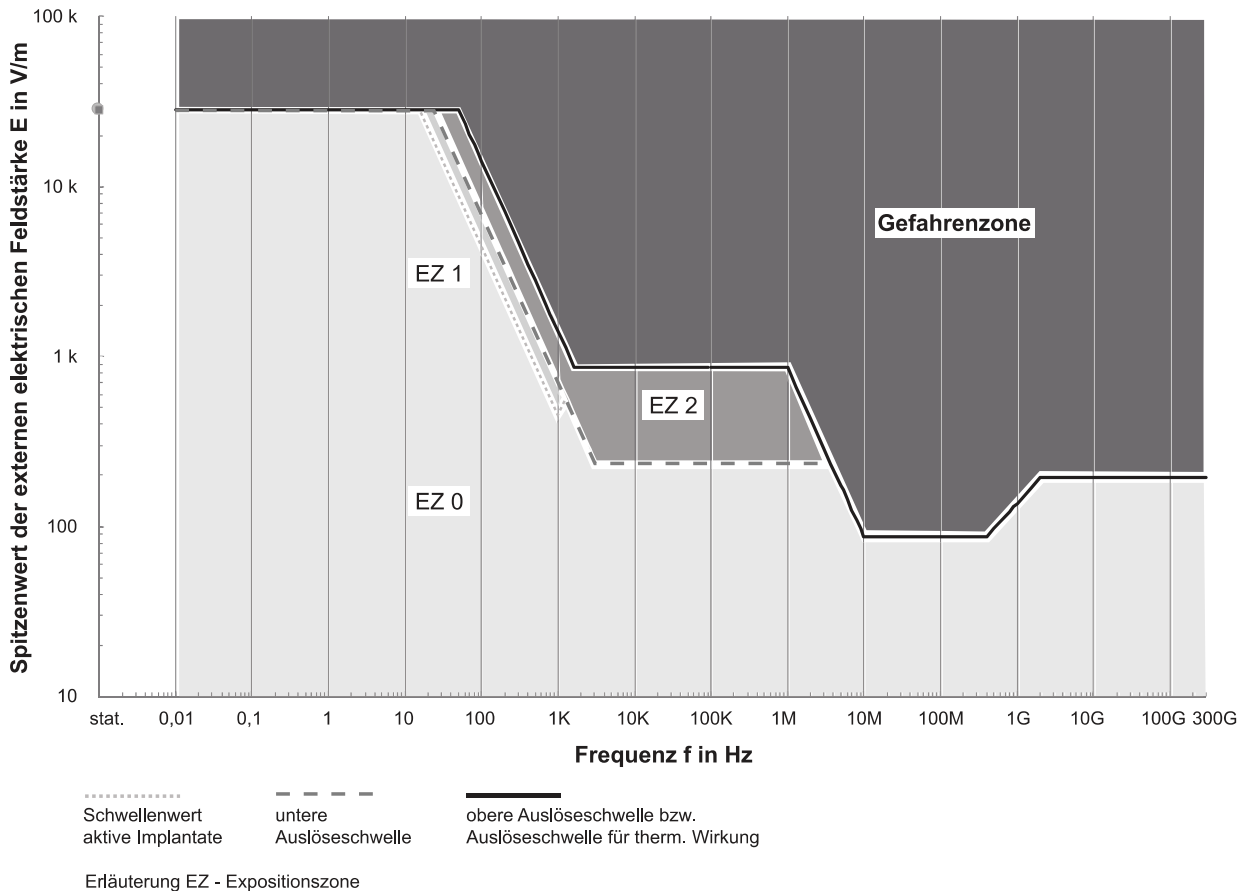


Abb. 7.1 Expositionszonen für elektrische Felder (beispielhafte Abbildung gilt nur für direkte Wirkungen und für EMF mit rein sinusförmigen Zeitverläufen)

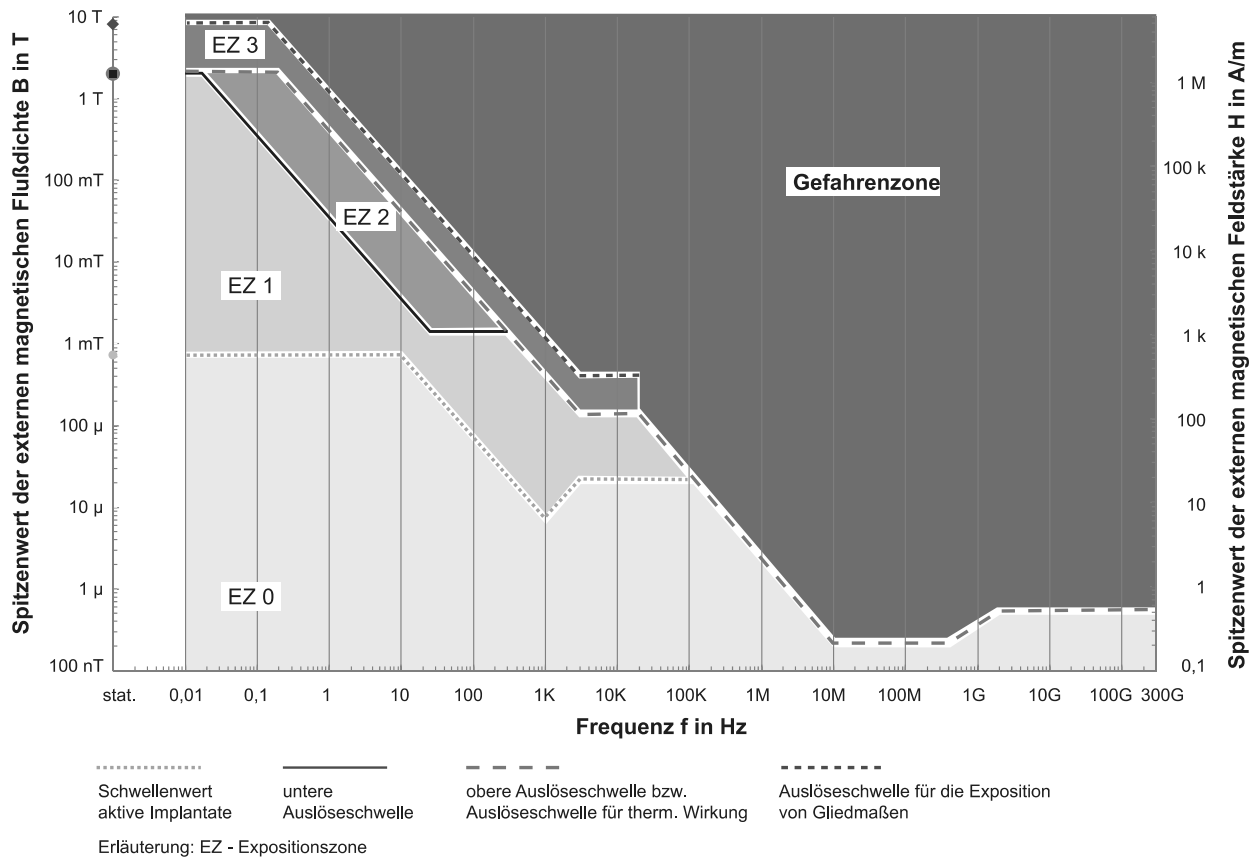


Abb. 7.2 Expositionszonen für magnetische Felder (beispielhafte Abbildung gilt nur für direkte Wirkungen und für EMF mit rein sinusförmigen Zeitverläufen)

8 Literaturhinweise

8.1 Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln

Europäisches Regelwerk

- 1999/519/EG Empfehlung des Rates zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz–300 GHz)
- 2013/35/EU Richtlinie 2013/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) (20. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) und zur Aufhebung der Richtlinie 2004/40/EG

Nationales Regelwerk

- ArbSchG Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG)
- JArbSchG Gesetz zum Schutze der arbeitenden Jugend (Jugendarbeitsschutzgesetz – JArbSchG)
- SprengG Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz – SprengG)

26. BImSchV	Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV)
BetrSichV	Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV)
EMFV	Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder (Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – EMFV)
GefStoffV	Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV)
SprengTR 310	Technische Regel zum Sprengstoffrecht – Sprengarbeiten (SprengTR 310 – Sprengarbeiten)
TREMf MR	Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – Magnetresonanzverfahren
TREMf NF	Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – Statische und zeitveränderliche elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich bis 10 MHz

8.2 DGVU-Publikationen

DGVU-I 203-038	DGVU Information 203-038 „Beurteilung magnetischer Felder von Widerstandsschweißeinrichtungen“ von Oktober 2006
----------------	---

8.3 Forschungsberichte

FB 400	Forschungsbericht „Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz“, Bundesministerium für Arbeit und Soziales, November 2011
FB 451	Forschungsbericht „Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz – Sicherheit von Beschäftigten mit aktiven und passiven Körperhilfsmitteln bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern“, Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Februar 2015

8.4 Sonstiges

EmpfBS 1114	Empfehlungen zur Betriebssicherheit „Anpassung an den Stand der Technik bei der Verwendung von Arbeitsmitteln“ des Ausschusses für Betriebssicherheit
Lapicque 1926	„L'excitabilité en fonction du temps: La chronaxie, sa signification et sa mesure“, Les presses universitaires de France, ASIN: B01MS4E0MG (Lapicque'sches Gesetz/Weiss'sche Gleichung)

Anhang: Direkte und indirekte Wirkungen elektromagnetischer Felder

A1 Einleitung

Die Wirkungen von EMF auf den Menschen sind abhängig von der Frequenz und der Feldstärke sowie der zeitlichen Änderung der Feldstärke. Hinzu kommen individuelle Faktoren wie Körpergröße, Wassergehalt und Blutversorgung des Körpergewebes sowie physikalische Randbedingungen wie Dauer der Einwirkung, räumliche Ausdehnung der Felder, Abstand von der Feldquelle, Orientierung des Körpers zum Feld, Dielektrizitätskonstanten, Erdung und Feuchtigkeit von Haut und Kleidung.

EMF gehören zur nichtionisierenden Strahlung, das bedeutet, dass ihre Energie nicht groß genug ist, um Materie zu ionisieren.

Im Frequenzbereich der EMFV hat der Mensch keine Sinnesorgane für elektromagnetische Felder, sondern kann nur die Auswirkungen wahrnehmen (z. B. Reize oder Erwärmung).

Nicht jede biologische Wirkung von EMF führt auch zu einer Gefährdung. In der EMFV werden bekannte, nachgewiesene und gut erforschte direkte biophysikalische Kurzzeitwirkungen mit anerkannten Mechanismen sowie indirekte Auswirkungen durch EMF berücksichtigt, vgl. auch EMF-Richtlinie 2013/35/EU über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder).

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass mögliche Langzeitwirkungen von EMF wie die Bildung von Karzinomen nicht nachgewiesen sind – es ist auch kein Wirkungsmechanismus bekannt. Deshalb sind Langzeitwirkungen nicht Gegenstand der EMFV (und der zugrundeliegenden EMF-Richtlinie 2013/35/EU).

Eine wesentliche Ursache für biologische Wirkungen von EMF ist, dass im menschlichen Körper elektrisch geladene Teilchen existieren. Auch ohne äußere Felder sind bereits natürliche schwache Körperströme vorhanden. So werden Nervenreize als Impulse elektrisch übertragen und können z. B. mittels eines Elektroenzephalogramms (EEG) dargestellt werden. Alle Muskelbewegungen, auch die des Herzmuskels, werden durch elektrische Signale gesteuert. Diese sind mittels Elektromyogramms (EMG) oder Elektrokardiogramms (EKG) erfassbar. Der menschliche Körper ist u. a. wegen seines hohen Wasser- und Elektrolytanteils ein relativ guter elektrischer Leiter.

In der EMFV wird zwischen direkten und indirekten Wirkungen unterschieden. Dabei gelten direkte Wirkungen als Einflüsse, die als unmittelbare Wirkung im menschlichen Körper infolge der Exposition in einem elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feld auftreten (Stimulation von Muskeln, Nerven, Sinnesorganen, Gewebeerwärmung) (siehe Abschnitt 4.6). Demgegenüber werden Wechselwirkungen zwischen EMF und Objekten, die nicht Teil des menschlichen Körpergewebes sind, als indirekte Wirkungen bezeichnet (wie Projektilwirkung, Störungen von Implantaten) (siehe Abschnitt 4.20).

Nachgewiesene Wirkungen von EMF auf den Menschen, die bis hin zu gesundheitliche Auswirkungen führen können, sind in der folgenden Auflistung kurz zusammengefasst:

1. Kraftwirkungen von statischen Feldern ($f = 0 \text{ Hz}$),
2. Kurzzeitwirkungen wie Reizwirkungen auf Sinnesorgane,
3. Reizwirkungen statischer und niederfrequenter Felder ($0 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$) auf Nerven und Muskeln (nichtthermische Wirkungen) und
4. Wirkungen hochfrequenter Felder ($100 \text{ kHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$) durch Absorption der Strahlungsleistung im Körpergewebe (thermische Wirkungen).

Im Übergangsbereich ($100 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$) zwischen Nieder- und Hochfrequenzbereich gehen nichtthermische (Reiz-)Wirkungen in thermische Wirkungen über (siehe Abschnitt 4.42).

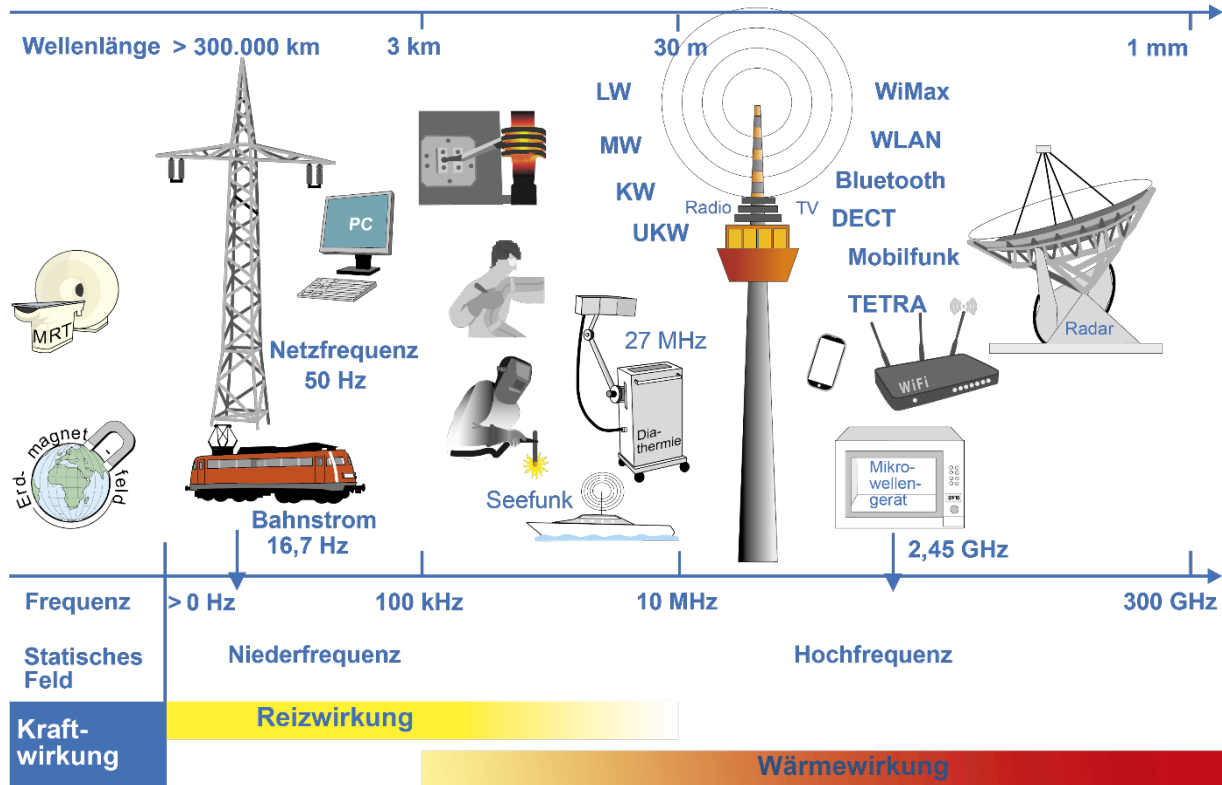


Abb. A1 Exemplarische Darstellung der Wellenlängen, Frequenzen, Anwendungen und Wirkungen elektromagnetischer Felder von 0 Hz bis 300 GHz

Abbildung A1 zeigt den Frequenzbereich der EMFV, Beispiele der vielfältigen Nutzung von EMF und die unterschiedlichen Wirkungen auf den Menschen im Bereich statischer, niederfrequenter und hochfrequenter Felder. Die Wirkungen sind im unteren Teil der Abbildung als farbige Streifen in Abhängigkeit von der Feldfrequenz dargestellt.

Im unteren Teil der Grafik kennzeichnet die Farbüberlagerung der Streifen im Übergang vom Nieder- zum Hochfrequenzbereich (Übergangsbereich, von gelb zu rot) die Überlappung der beiden typischen Wirkungen: die nichtthermischen (Kraft- und Reiz-)Wirkungen (siehe Abschnitt A4.3) nehmen im Niederfrequenzbereich mit höheren Frequenzen ab, die thermischen (Wärme-)Wirkungen (siehe Abschnitt A6.1) nehmen zu und sind schließlich im Hochfrequenzbereich für die Wirkung entscheidend.

A2 Übersicht zu direkten Wirkungen

Direkte Wirkungen sind thermische und nichtthermische Wirkungen. Auf Basis wissenschaftlicher Untersuchungen wurden fundierte und bestätigte Schwellenwerte ermittelt. Unterhalb dieser Schwellenwerte treten gemäß dem derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand keine Gesundheitsgefährdungen auf. Dies gilt auch bei wiederholten Expositionen unterhalb der Schwellenwerte. Diese Schwellenwerte sind nicht zu verwechseln mit den in der EMFV definierten, deutlich niedrigeren Auslöseschwellen.

Beim Schutz vor direkten Wirkungen infolge einer EMF-Exposition wird zwischen sensorischen Wirkungen und gesundheitlichen Wirkungen unterschieden. Dabei werden die gesundheitlichen Wirkungen als schwerwiegender angesehen, weil sensorische Wirkungen durch EMF kurzzeitig auftreten und vorübergehend sind, d. h. bei langsamen Bewegungen im statischen Feld z. B. bei der Magnetresonanztomographie (MRT) bzw. durch Reduktion des verursachenden Feldes verschwinden. Abbildung A2 gibt einen Überblick über die biologischen Wirkungen, die bei Exposition gegenüber EMF auftreten können.

Direkte Wirkungen in statischen ($f = 0$ Hz) und quasistatischen Feldern ($f \leq 10$ Hz)

Nichtthermische Wirkungen auf Sinnes- und Nervenzellen:

- als metallischer Geschmack (maximale Empfindlichkeit bei $f < 1$ Hz)
- durch schnelle Bewegungen in statischen Feldern hervorgerufener Schwindel und/oder Übelkeit durch induzierte Körperströme (maximale Empfindlichkeit bei $0,1 \text{ Hz} \leq f \leq 2 \text{ Hz}$)

Direkte Wirkungen im Frequenzbereich $0 \text{ Hz} < f \leq 10 \text{ MHz}$

Nichtthermische Wirkungen auf Sinnesorgane, periphere Nerven und Muskeln:

- Magnetophosphene (Lichtblitze), als Wirkung auf die Netzhaut des Auges (maximale Empfindlichkeit bei $f \approx 20 \text{ Hz}$)
- Stimulation von peripheren Nerven und von Muskeln, Störung der autonomen Herzaktion sind nur in außerordentlich starken Feldern möglich, z. B. in statischen magnetischen Feldern mit $B > 8 \text{ T}$ (maximale Empfindlichkeit bei $f \approx 50 \text{ Hz}$)

Direkte Wirkungen im Frequenzbereich $100 \text{ kHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$

Nichtthermische Wirkungen auf das Sinnesorgan Ohr (als thermoelastischer Effekt):

- sehr selten unter bestimmten Bedingungen auftretende Wirkungen in Form von Mikrowellenhören mit Geräuschen wie Summen oder Klicken (Auftreten bei $0,3 \text{ GHz} \leq f \leq 6 \text{ GHz}$, $T_{\text{Puls}} < 30 \mu\text{s}$)

Thermische Wirkungen als Erwärmung/Verbrennung tieferer Gewebeschichten (bei $100 \text{ kHz} \leq f \leq 6 \text{ GHz}$)

- in Teilen des Körpers (z. B. des Auges, Kopfes oder der Gliedmaßen)
- des gesamten Körpers

Thermische Wirkungen als Erwärmung/Verbrennung der Körperoberfläche bzw. oberflächennaher Gewebeschichten (bei $6 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$)

Direkte Wirkungen im Übergangsbereich zwischen $100 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$

Nichtthermische Wirkungen auf Nerven und Muskeln sowie thermische Wirkungen

Abb. A2 Überblick über biologische Wirkungen bei Exposition gegenüber EMF

Im Folgenden werden die biologischen Wirkungen, bezogen auf die Frequenzbereiche, näher erläutert (siehe auch FB 400).

A3 Direkte Wirkungen in statischen ($f = 0$ Hz) und quasistatischen Feldern ($f \leq 10$ Hz)

Statische elektrische Felder dringen kaum in das Körpergewebe ein. Deshalb sind sie in ihrer direkten Wirkung auf die Körperoberfläche, z. B. Bewegung von Körperhaaren, Elektrisierungen, Entladungen beschränkt. Das Körperinnere bleibt feldfrei.

Statische magnetische Felder können wegen ihrer Kraftwirkungen auf ferro- und diamagnetische Stoffe und bewegte geladene Teilchen im menschlichen Körper zu elektrischen Feldern im Körpergewebe führen (z. B. Auftreten von induktiver Beeinflussung bewegter Ladungen, Beschleunigungen, Drehmomente).

Bewegungen im statischen bzw. zeitliche Änderungen im statischen (quasistatischen) Magnetfeld induzieren niederfrequente elektrische Felder im Körpergewebe. In starken statischen Magnetfeldern (z. B. bei MRT) kann es durch Veränderungen der Ionengradienten und der Wirkungen induzierter Felder auf die Geschmackszellen im Mund zu einem metallischen Geschmack kommen. Als Wirkung auf das Gleichgewichtsorgan im Innenohr sind, vor allem bei (schnellen) Bewegungen, aber auch bei ruhigem Aufenthalt, Schwindelgefühle möglich. Auch Übelkeit kann auftreten. Diese Erscheinungen sind mit Feldern mit einer Frequenz von $f < 10$ Hz verbunden.

Sobald das verursachende Feld verlassen wird, klingen diese Wirkungen auf Sinnesorgane und Zentralnervensystem schnell ab. Es handelt sich somit um kurzzeitige reversible Wirkungen.

A4 Direkte Wirkungen im Frequenzbereich $0 \text{ Hz} < f \leq 10 \text{ MHz}$

Bei sensorischen Wirkungen handelt es sich um reversible Reizungen von Sinneszellen oder um geringfügige temporäre Veränderungen von Hirnfunktionen (Zentralnervensystem). Bei Magnetophosphenen (Wahrnehmung von Lichtblitzen) geht es um eine Wirkung auf die Netzhaut des Sinnesorgans Auge (Retina). Magnetophosphene können in starken niederfrequenten Magnetfeldern (mit $2 \text{ mT} \leq B \leq 10 \text{ mT}$) bei Frequenzen von $10 \text{ Hz} \leq f \leq 50 \text{ Hz}$ auftreten. Auch hier gilt, dass die Wirkung mit Verlassen des verursachenden Feldes innerhalb kurzer Zeit abklingt.

Zu direkten Wirkungen niederfrequenter Felder zählen auch Oberflächeneffekte auf der Haut bei starken elektrischen Feldern und die von elektrischen und magnetischen Feldern verursachten Wirkungen im Innern des Körpers, die im Folgenden beschrieben werden.

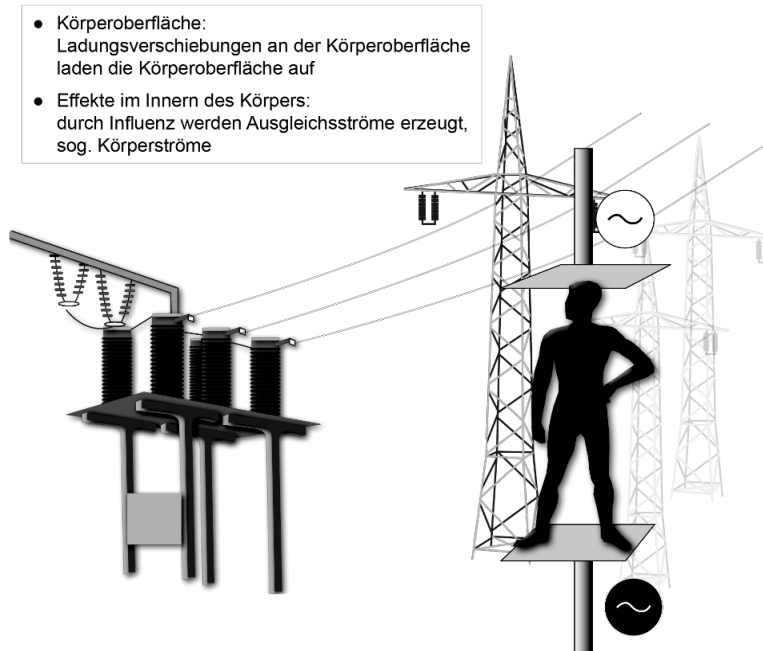
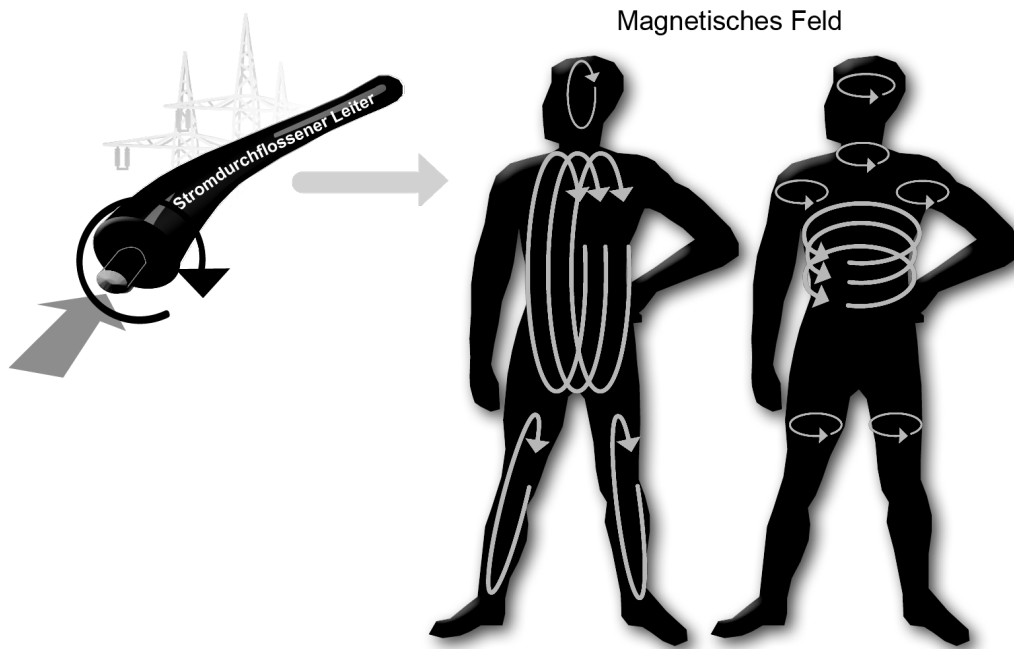


Abb. A3 Direkte Wirkung eines niederfrequenten elektrischen Feldes: Kapazitive Einkopplung eines Körperstromes als unmittelbare Feldwirkung

A4.1 Direkte Wirkungen in niederfrequenten elektrischen Feldern

Die kapazitive Einkopplung eines Körperstromes durch ein äußeres niederfrequentes elektrisches Feld tritt infolge von Aufladevorgängen auf, die mit der Feldfrequenz des einwirkenden Feldes wechseln. Im Innern des menschlichen Körpers entstehen durch Influenz Körperströme. Es kommt zu einem Stromfluss durch den Körper zur Erde (siehe Abbildung A3).

- Wirbelströme im Innern des Körpers durch magnetische Induktion



A4.2 Direkte Wirkungen in niederfrequenten magnetischen Feldern

Abb. A4 Direkte Wirkung eines niederfrequenten magnetischen Feldes: Induktive Einkopplung eines Körperstromes als unmittelbare Feldwirkung (links horizontales Magnetfeld, rechts vertikales Magnetfeld)

Niederfrequente Magnetfelder können das Körpergewebe ungehindert durchdringen. Die durch ein äußeres niederfrequentes Magnetfeld induzierten Ströme im Körpergewebe werden als Wirbelströme im menschlichen Körper bezeichnet. Die Wirbelströme im menschlichen Körper sind abhängig von der räumlichen Orientierung des Menschen in Bezug auf das wirksame äußere Magnetfeld. Durch die im menschlichen Körper induzierten Wirbelströme kann es zu Reizungen von Muskeln und Nerven und zu Wirkungen auf Sinnesorgane kommen (siehe Abbildung A4).

A4.3 Mechanismus der Reizwirkungen

Allgemein beruht die Reizwirkung von zeitlich veränderlichen elektrischen und magnetischen Feldern mit Frequenzen von $f \leq 10$ MHz auf Nerven oder Muskelzellen auf einer Beziehung zwischen der Stärke der Reizung und der Dauer des externen Reizes. Der wichtigste Parameter zur Beschreibung der Elektrostimulation von Körpergewebe ist der Spitzenwert der elektrischen Feldstärke im Gewebe.

Für Reizungen von Nerven und Muskeln (unwillkürliches Zucken, Kribbeln) sind neben der Frequenzabhängigkeit die Dauer der Stimulation (Einwirkdauer) und die Überschreitung eines Schwellenwertes der gewebeinternen elektrischen Feldstärke die entscheidende Voraussetzung.

Aus experimentellen Untersuchungen (z. B. an isolierten Nervenfasern und mit Probanden) sowie theoretischen Berechnungen und Überlegungen ergibt sich für die periphere Nervenstimulation ein Schwellenwert für die gewebeinterne elektrische Feldstärke von $6 \text{ V/m} \leq E_i < 7 \text{ V/m}$. Als Schwelle einer Stimulation des Gewebes des Zentralnervensystems gelten Werte von $0,15 \text{ V/m} \leq E_i \leq 0,35 \text{ V/m}$ [FB 400].

Ausnahmslos liegen die Schwellen für eine direkte Reizung von Muskeln wesentlich höher als die von Nerven. Zum Beispiel wird eine Störung der autonomen Funktion des Herzmuskels erst bei sehr starken äußeren Magnetfeldern ab einer magnetischen Flussdichte von $8 \text{ T} \leq B \leq 10 \text{ T}$ erwartet.

An den meisten Arbeitsplätzen liegen die auftretenden Expositionswerte weit unter den o. g. Schwellenwerten für periphere Nervenstimulation bzw. Muskelstimulation. Beispielsweise wurden an Büroarbeitsplätzen Expositionen von einigen Nanotesla bis Mikrottesla gemessen, an industriellen Arbeitsplätzen häufig zehn bis hundert Mikrottesla [FB 400].

Der Zusammenhang zwischen Stimulationen durch zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder mit $f \leq 10 \text{ MHz}$ und der Auslösung einer Erregung von Muskel- oder Nervenzellen (Aktionspotential) wird durch das Lapicque'sche Gesetz (Lapicque, 1926) bzw. die modifizierte Weiss'sche Gleichung beschrieben:

$$I_S = \left(1 + \frac{\tau}{T}\right) \cdot I_R \quad \text{Gl. A-1}$$

und wenn $\tau = T$ gilt $I_S = 2 \cdot I_R$

mit

I_S minimale Reizstärke, Stimulationsschwelle (in μA)

I_R Rheobase (in μA): Schwelle, bei der eine Erregung (Aktionspotential) ausgelöst wird

τ Chronaxie (in ms): Zeit, nach der die minimale Reizstärke gleich dem doppelten Rheobase-Wert ist

T Dauer der Stimulation (in ms)

Aus Gleichung A-1 und Abbildung A5 lassen sich folgende Aussagen ableiten:

1. Reize müssen I_R (Rheobase, Schwelle für Auslösung eines Aktionspotentials) überschreiten, um überhaupt eine Erregung, also ein Aktionspotential, auszulösen. Das heißt, eine minimale Reizstärke (minimaler Strom) I_S (Stimulationsschwelle) mit der Dauer T ist für eine Überwindung der Reizschwelle erforderlich (siehe Abbildung A5).
2. Aus der Grafik geht hervor, dass bei langen Reizen der Wert der Reizstärke (des Reizstromes) mit der Rheobase übereinstimmt. Die Erregung einer Nerven- oder Muskelzelle kann durch längere Reize oder größere Reizstärken nicht gesteigert werden. Selbst wenn sie lange dauern, können Reize unterhalb der Rheobase kein Aktionspotential hervorrufen.
3. Die Auslösung einer Erregung hängt vom Zeitverlauf des Reizes ab: Sind die zeitlichen Änderungen zu gering (Frequenz zu niedrig) und sind die Reize zu kurz (Frequenz zu hoch), tritt auch bei hoher Stärke des Reizes keine Nerven- oder Muskelreaktion auf.
4. Haben Reize eine kurze Dauer, ist eine höhere Intensität notwendig, um ein wirksames Aktionspotential auszulösen.

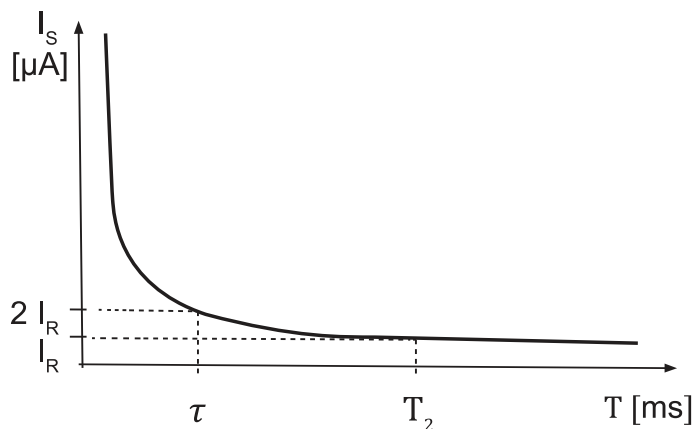


Abb. A5 Grafische Darstellung des Gesetzes von Lapicque nach FB 400

A4.4 Direkte Wirkungen in niederfrequenten Feldern als Oberflächenwirkungen und körperinnere Wirkungen

Die Wirkungen von niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern unterscheiden sich grundsätzlich. Ein niederfrequentes elektrisches Feld kann die Körperoberfläche nicht durchdringen. Starke niederfrequente elektrische Felder können aber zu einer Aufladung der Hautoberfläche führen, z. B. bei trockenem Wetter bei Aufenthalt unter einer Hochspannungsleitung. Diese Wirkung kann als Kribbeln zu spüren sein. Die Wirkungen starker elektrischer Wechselfelder können auch als Bewegung von Körperhaaren infolge Influenz und elektrostatischer Abstoßung wahrgenommen werden (für $E_e > 10 \text{ kV/m}$). Die Ursache für eine Bewegung von Haaren ist, dass z. B. bei einem äußeren elektrischen Feld mit 50 Hz das elektrische Feld 100-mal pro Sekunde seine Richtung wechselt und die Hautoberfläche – bezogen auf die Erde – abwechselnd positiv oder negativ auflädt.

Wenn die Körperoberfläche durch das äußere elektrische Feld alternierend aufgeladen wird, fließt durch das Körperinnere ein Strom von der Hautoberfläche zu den Füßen auf dem Boden, obwohl die Körperoberfläche nicht durchdrungen wird. Niederfrequente elektrische Felder können also innere Ströme zwischen der Haut und einem geerdeten Körperteil erzeugen.

Demgegenüber kann ein niederfrequentes magnetisches Feld die Haut durchdringen und im Körper Wirbelströme erzeugen. Bei Expositionen gegenüber zeitlich veränderlichen niederfrequenten magnetischen Feldern ist deshalb eine Stimulation des Nerven- und Muskelgewebes infolge der induzierten Ströme möglich. Bei geringen Feldstärken ist diese Stimulation zwar nicht gesundheitsschädlich, kann aber bei mangelhafter Information und Unterweisung der Beschäftigten zu Schreck- und Schockreaktionen und damit zu sekundären Gefährdungen führen.

A5 Direkte Wirkungen im Frequenzbereich $100 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$

Mit zunehmender Frequenz nehmen die für den Niederfrequenzbereich typischen Stimulationswirkungen immer mehr ab, während die für den Hochfrequenzbereich charakteristischen Wärmewirkungen zunehmen. Diese Besonderheit ist kennzeichnend für den Übergangsbereich.

A6 Direkte Wirkungen im Frequenzbereich $100 \text{ kHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$

Hochfrequente Felder können in biologisches Gewebe eindringen, es kommt zur Absorption der Strahlungsleistung und demzufolge zu einer Wärmewirkung, d. h. zu einer Erhöhung der Temperatur des Körpergewebes in örtlich begrenzten Bereichen oder zu einer Erwärmung des gesamten Körpers (siehe Abbildung A6).

Bekanntlich ist das Auge besonders wärmeempfindlich. Bei ausreichend hoher Intensität kann es bei einmaliger lokaler Einwirkung auf das Auge zu einer Temperaturerhöhung in der nicht durchbluteten Augenlinse und bei langjähriger Einwirkung zur Entstehung eines Katarakts (Mikrowellenstar/Grauer Star) kommen. Ein Katarakt wäre somit durch Überwärmung durch eine einmalige hohe Überexposition ($\text{SAR} > 100 \text{ W/kg}$) als auch durch wiederholte oder ständige Überexpositionen ($\text{SAR} > 10 \text{ W/kg}$) möglich. Durch Arbeitsschutzmaßnahmen konnten in den letzten Jahren Katarakte durch hochfrequente Felder (z. B. Radar) verhindert werden.

Die Absorption hängt neben der Frequenz und der Leistung des EMF auch von den Eigenschaften und der Struktur des menschlichen Körpergewebes ab. Außerdem erfolgt durch die Thermoregulation und unterschiedliche Durchblutung des Gewebes ein Abtransport der Wärme mit unterschiedlicher Effektivität. Diese Parameter sowie die Leistungsfähigkeit der Regulationsmechanismen und die gesamte körperliche Verfassung eines Menschen sind individuell ausgeprägt. Wie ein Beschäftigter auf eine Strahlungsabsorption im Körper reagiert, hängt außerdem von den Umgebungsbedingungen wie Lufttemperatur und Luftfeuchte sowie der Arbeitsbelastung und der Bekleidung ab.

Sollten sich der gesamte oder Teile des menschlichen Körpers infolge der Absorptionswirkung erwärmen, kann die Wahrnehmung eines Wärmegefühls auf der Haut eines Beschäftigten nicht als Indikator für eine gesundheitsschädliche Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern dienen. Es ist wichtig zu wissen, dass die Strahlungsabsorption hochfrequenter Strahlungsanteile vor allem in den tieferen Gewebeschichten des Körpers stattfindet und der Mensch im Körperinneren nicht über Sensoren für Wärmewirkungen verfügt. Deswegen können in inneren Organen bereits Schäden auftreten, bevor Thermorezeptoren der Haut reagieren. Bei längerer Ganzkörpereinwirkung kann eine Erhöhung der Körperkerntemperatur mit möglichen schweren Schädigungen die Folge sein.

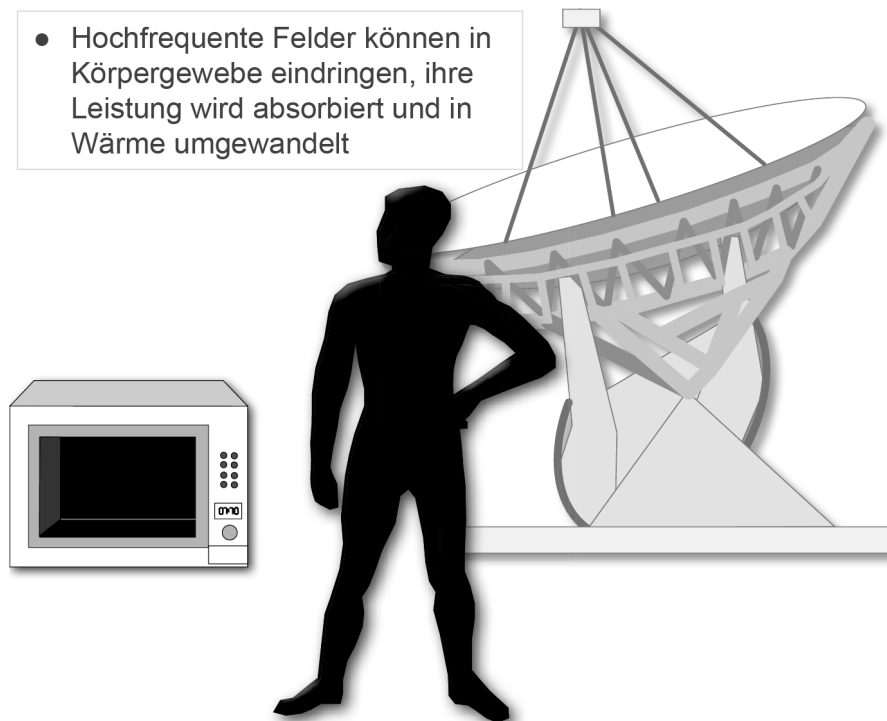


Abb. A6 Direkte Wirkung eines hochfrequenten Feldes: Erwärmung des Körpergewebes als unmittelbare Feldwirkung

A6.1 Mechanismus der thermischen Wirkungen

Da im biologischen Gewebe elektrische Ladungen (Ionen, d. h. geladene Atome oder Moleküle) auftreten, können diese Ladungen von einem äußeren EMF beeinflusst werden. Beim Eindringen von hochfrequenter Strahlung in das Gewebe treten mit der Frequenz des wirksamen Feldes Oszillationen, Schwingungen und Verschiebungen der geladenen Teilchen auf. Eine der wichtigsten Wirkungsmechanismen ist die Orientierungspolarisation von Dipolen, wie von Wassermolekülen, da das menschliche Körpergewebe zu einem hohen Prozentsatz aus Wasser besteht. Bewegungen der Moleküle führen in Verbindung mit Kraftwirkungen auf andere Moleküle zu Reibungswärme. Auf große Eiweißmoleküle des menschlichen Gewebes, die ebenfalls als Dipole mit positiven und negativen Ladungen auftreten, übt das hochfrequente Feld Drehmomente aus, es kommt unter Reibungsverlusten zu einer Ausrichtung im Feld. Zu einer Erwärmung des bestrahlten Gewebes tragen auch Rotationen, Stöße und Resonanzen der geladenen Teilchen bei.

Mit steigender Frequenz nimmt die Eindringtiefe in das Körpergewebe stark ab. Während im MHz-Bereich (Rundfunk) die Eindringtiefe bei ca. 10 cm bis 30 cm liegt, sind es im GHz-Bereich (Mobilfunk) nur noch wenige Zentimeter und über 10 GHz (Radar) weniger als 1 mm. Bei noch höheren Frequenzen treten nur noch Oberflächenwirkungen auf die Haut auf.

Außerdem ist bei der Wirkung hochfrequenter Felder zu beachten, dass ein menschlicher Körper wie eine „Empfangsantenne“ wirkt. Ein Körper kann je nach Körpergröße und bestrahltem Körperteil unter Berücksichtigung des Verhältnisses zur Wellenlänge der einfallenden Strahlung unterschiedlich viel Strahlung absorbieren. Bei einer Körpergröße von ungefähr der halben Wellenlänge der wirksamen Strahlung kann besonders viel Leistung aufgenommen werden. Die Resonanzfrequenz (aufgrund Absorption sowie Reduktion der Ausbreitungsgeschwindigkeit des EMF im Körpergewebe und somit Wellenlängenverkürzung) eines Erwachsenen liegt etwa zwischen $70 \text{ MHz} \leq f \leq 100 \text{ MHz}$.

A6.2 Bedeutung von Schwellenwerten

Von entscheidender Bedeutung ist, dass direkte biologische Wirkungen hochfrequenter Felder mit gesundheitsschädlichen Folgen erst bei Überschreitung eines Schwellenwertes ausgelöst werden. Um gesundheitsschädliche Wirkungen zu vermeiden, muss die Überschreitung dieses Schwellenwertes daher verhindert werden.

Die physikalische Größe, um thermische Wirkungen zu einer Exposition in hochfrequenten Feldern in Beziehung zu setzen, ist die Spezifische Absorptionsrate (SAR). Die spezifische Absorptionsrate ist die über den ganzen Körper oder Teile des Körpers gemittelte Rate, mit der Strahlungsleistung je Masseneinheit des Körpergewebes absorbiert wird (Angabe in W/kg).

Thermische Wirkungen hochfrequenter Felder sind u. a. bei Tierversuchen und mit Probanden erforscht worden. Eine SAR von 4 W/kg ist im Durchschnitt mit einer Erhöhung der Körperkerntemperatur von 1 K verbunden. Diese Erhöhung ist für einen gesunden Menschen gesundheitlich unbedenklich, zum Vergleich: Durch körperlich anstrengende Tätigkeit werden innerhalb des Körpers 3 bis 5 W/kg umgesetzt.

Um Beschäftigte vor Schädigungen der Gesundheit infolge hochfrequenter Strahlung zu schützen, darf die Erhöhung der Körperkerntemperatur maximal 1 K betragen. Daraus ergibt sich ein Schwellenwert von $SAR_{\text{Ganzkörper}} = 4 \text{ W/kg}$. Ganzkörperwerte sind über den gesamten Körper gemittelt und dienen dem Schutz vor zu hoher Wärmebelastung und Hitzschlag. Um starke Absorptionen in Teilbereichen des Körpers oder von Körperteilen zu verhindern, sind bei besonderen Expositionsbedingungen lokale SAR-Werte zu beachten (z. B. bei Exposition des Kopfes). Die lokalen SAR-Werte verhindern bei Bestrahlungen von Teilen des Körpers die thermische Schädigung des jeweiligen Gewebes. Da dabei auch Inhomogenitäten von Körpergewebe berücksichtigt werden müssen, wird über eine geringere Masse (10 g) eines zusammenhängenden Gewebes gemittelt. (Sowohl Ganzkörper-SAR als auch lokale SAR werden weiterhin über Sechs-Minuten-Intervalle gemittelt (siehe Abschnitt 6).

Im Frequenzbereich von $0,3 \text{ GHz} \leq f \leq 6 \text{ GHz}$ kann es zu einer Wirkung auf das Sinnesorgan Ohr kommen. Die sehr seltene sensorische Wirkung des Mikrowellenhörens (mit Geräuschen wie Summen oder Zischen) kann nur bei Pulsbreiten von $T_{\text{Puls}} < 30 \mu\text{s}$ auftreten.

Ab Frequenzen mit $f \geq 6 \text{ GHz}$ dringt die Strahlung nicht mehr in das Körpergewebe ein, die Absorption beschränkt sich auf die Hautoberfläche. Sehr hohe Expositionen können zu Schmerzempfindungen und Verbrennungen führen. Deshalb ist es notwendig, die auf die Körperoberfläche auftreffende Leistungsdichte zu begrenzen (Mittelung über festgelegte Flächenelemente und über Sechs-Minuten-Intervalle).

A7 Indirekte (mittelbare) Wirkungen

Bei indirekten Wirkungen handelt es sich um mittelbare Wirkungen von EMF, die die Gesundheit und Sicherheit von Beschäftigten gefährden können.

Zu indirekten Wirkungen gehören die von elektrischen oder magnetischen Feldern durch Gegenstände im Feld ausgelösten Wirkungen, die im Folgenden kurz erläutert werden:

1. Kontaktströme (Stromschläge oder Verbrennungen durch Kontaktströme infolge der Berührung eines leitfähigen Gegenstandes in einem EMF):
 - a) Indirekte Wirkungen durch Kontaktströme können bei der Berührung von leitfähigen metallischen Gegenständen in elektrischen Feldern auftreten, wobei entweder nur der Beschäftigte oder nur der Gegenstand geerdet ist (siehe Abbildung A7).
 - b) In elektrischen Feldern (wie unter einer Hochspannungsleitung) kann die Oberfläche von Kraftfahrzeugen aufgeladen werden. Bei einer Berührung des Fahrzeugs durch

eine Person fließt ein Strom mit der Frequenz des anliegenden elektrischen Feldes durch den Körper zur Erde. In der Folge kommt es zu einer Entladung (Mikroschock) über den menschlichen Körper.

- c) Mikroschocks werden nicht als gesundheitsschädlich eingestuft, werden aber häufig als belästigend angesehen. Die Wahrnehmungsschwelle für derartige Funkenentladungen bzw. die entstehenden Körperströme sind von den Eigenschaften des betreffenden aufgeladenen Materials und der individuellen persönlichen Empfindlichkeit abhängig.
2. Beeinflussung von aktiven bzw. passiven Implantaten oder am Körper getragenen medizinischen Geräten:
 - a) Die Anzahl der Implantationen und der am Körper getragenen medizinischen Geräte nimmt ebenso wie die Zahl der betroffenen Beschäftigten ständig zu. In Deutschland wurden 2018 insgesamt ca. 120 000 Neuimplantationen von Herzschrittmachern und implantierbaren Kardioverter-Defibrillatoren (ICD) vorgenommen.
 - b) Als aktive Implantate (besitzen eine Energiequelle) sind beispielhaft zu nennen:
 - Herzschrittmacher, ICD,
 - elektronische Innenohrprothesen (Cochlea-Implantate),
 - Muskelstimulatoren, Blasenstimulatoren, Magenstimulatoren,
 - Insulinpumpen,
 - Retina-Implantate,
 - Hirnschrittmacher.
 - c) Passive Implantate sind z. B. Endoprothesen (künstliche Hüft-, Schulter-, Kniegelenke), Stents (Stabilisatoren für Blutgefäße), metallische Stifte, Nägel, Schienen, Platten wie Schädelplatten.
 - d) Beeinflussung von Implantaten:
 - Wenn über ein äußeres EMF in das Implantat (wie z. B. einen Herzschrittmacher) ein Signal eingekoppelt wird, ist eine Beeinflussung des Implantats möglich. Das heißt, dass die Funktionen des Implantats gestört werden und leichte bis schwerwiegende gesundheitliche Beeinträchtigungen auftreten können.
 - Bei passiven Implantaten können durch thermische Wirkungen von EMF Erwärmungen des passiven Implantats und des angrenzenden Körpergewebes auftreten.
 3. Projektilwirkung durch Kraftwirkung auf ferromagnetische Gegenstände in statischen Magnetfeldern:

In sehr starken statischen Magnetfeldern (wie am Magnetresonanztomographen) können ferromagnetische Gegenstände (z. B. Werkzeuge aus Nickel oder Stahl) angezogen und sehr stark beschleunigt werden, sodass sie wie Geschosse wirken.
 4. Unbeabsichtigte Auslösung von elektrischen Zündvorrichtungen (Detonatoren):

Elektrische und elektronische Zündanlagen können durch EMF beeinflusst werden, dies kann u. U. zu Frühzündungen führen. Bei der Vorbereitung von Sprengarbeiten sind deshalb mögliche Beeinflussungen durch EMF zu berücksichtigen.
 5. Brände oder Explosionen durch die Entzündung von brennbaren oder explosiven Materialien aufgrund von Funkenbildung:

Für Brände und Explosionen zündfähiger Materialien wie Staub- oder Gasgemische sind häufig elektrostatische Entladungen als Zündursache nachgewiesen worden. Durch elektrostatische Entladungen kann es z. B. zu Funken-, Büschel-, Koronaentladungen kommen.

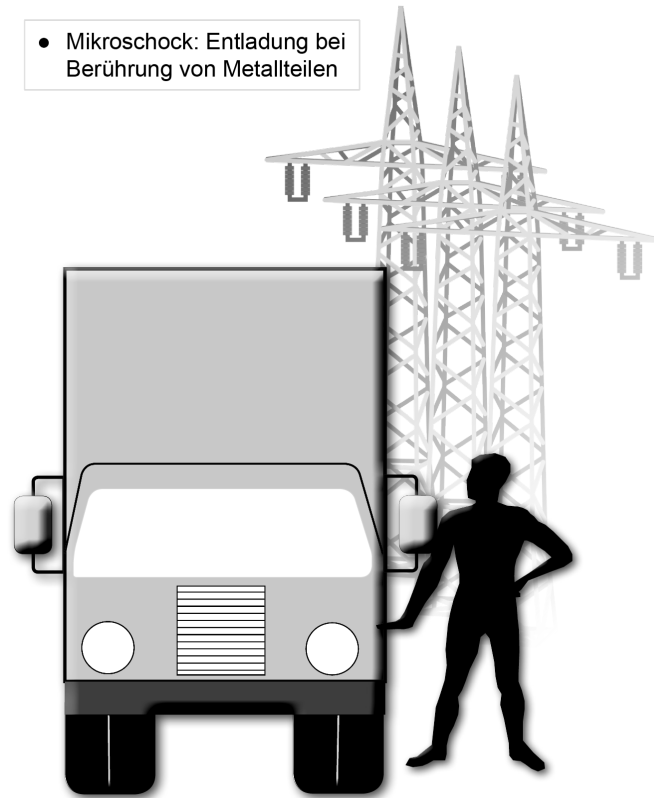


Abb. A7 Indirekte (mittelbare) Wirkung eines niederfrequenten elektrischen Feldes: Galvanische Einkopplung eines Körperstromes als mittelbare Feldwirkung

Technische Regeln zur Arbeitsschutz- verordnung zu elektromagnetischen Feldern	TREM Elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz	Teil 1: Beurteilung der Gefährdungen durch elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz
---	--	--

Die Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz (TREM HF) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder wieder.

Sie werden vom **Ausschuss für Betriebssicherheit** unter Beteiligung des **Ausschusses für Arbeitsmedizin** ermittelt bzw. angepasst und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Gemeinsamen Ministerialblatt (GMBI) bekannt gegeben.

Diese TREM HF Teil 1 „Beurteilung der Gefährdungen durch elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz“ konkretisiert im Rahmen ihres Anwendungsbereichs Anforderungen der Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern (EMFV). Bei Einhaltung dieser Technischen Regel kann der Arbeitgeber davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Verordnung erfüllt sind. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz für die Beschäftigten erreichen.

Inhalt

- 1 Anwendungsbereich
 - 2 Begriffsbestimmungen
 - 3 Grundsätze zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung
 - 4 Expositionszonen
 - 5 Informationsermittlung
 - 6 Durchführung der Gefährdungsbeurteilung
 - 7 Unterweisung
 - 8 Überprüfen und Aktualisieren der Gefährdungsbeurteilung
 - 9 Arbeitsmedizinische Vorsorge und Beratung
 - 10 Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung
 - 11 Literaturhinweise
- Anhang 1 Bewertung verschiedener Expositionssituationen für Beschäftigte
- Anhang 2 Bewertung verschiedener Expositionssituationen für besonders schutzbedürftige Beschäftigte
- Anhang 3 Empfehlung zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung, Beispiel Büroarbeitsplatz
- Anhang 4 Empfehlung zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung, Beispiel Besteigung eines Antennenträgers mit Rundfunktendantennen

1 Anwendungsbereich

- (1) Der Teil 1 „Beurteilung der Gefährdungen durch elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz“ der TREMF HF behandelt das Vorgehen bei der Beurteilung von Arbeitsbedingungen bei Expositionen gegenüber elektromagnetischer Felder (EMF) im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz nach § 3 EMFV. Sie konkretisiert die Vorgaben der EMFV innerhalb des durch §§ 5 und 6 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) vorgegebenen Rahmens.
- (2) Die TREMF HF gilt für EMF im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz. Sie gilt nach § 1 Absatz 2 und 3 EMFV nur für Kurzzeitwirkungen und nicht für vermutete Langzeitwirkungen.
- (3) Unabhängig von den in dieser TREMF HF beschriebenen Vorgehensweisen sind vom Arbeitgeber die Beschäftigten oder ihre Interessenvertretung, sofern diese vorhanden ist, aufgrund der einschlägigen Vorschriften zu beteiligen.

2 Begriffsbestimmungen

In diesem Teil 1 „Beurteilung der Gefährdungen durch elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz“ der TREMF HF werden Begriffe so verwendet, wie sie im Teil „Allgemeines“ der TREMF HF erläutert sind.

3 Grundsätze zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung

3.1 Allgemeines

- (1) Nach § 3 Absatz 1 EMFV in Verbindung mit § 5 ArbSchG ist eine Beurteilung der Arbeitsbedingungen durchzuführen. Dabei sind auch Gefährdungen zu betrachten, die durch physikalische, chemische oder sonstige Einwirkungen am Arbeitsplatz vorliegen können. Damit sind auch Gefährdungen einzubeziehen, die durch Expositionen gegenüber EMF auftreten können. § 3 Absatz 1 EMFV legt die grundlegenden Anforderungen an die Gefährdungsbeurteilung fest, während § 3 Absatz 4 EMFV die zu berücksichtigenden Punkte im Detail nennt. Eine Gefährdungsbeurteilung ist nach § 3 Absatz 5 EMFV vor der Aufnahme einer Tätigkeit durchzuführen. Entsprechend dem Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung sind vor der Aufnahme der Tätigkeit die notwendigen Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdungen durch EMF nach dem Stand der Technik zu treffen. Näheres hierzu wird im Teil 3 beschrieben. Die Gefährdungsbeurteilung ist regelmäßig zu überprüfen und gegebenenfalls zu aktualisieren. Die Gefährdungsbeurteilung ist zu dokumentieren. § 3 Absatz 6 EMFV legt die Anforderungen an den Inhalt und die Form der Dokumentation fest.
- (2) Die Gefährdungsbeurteilung muss nach dem Stand der Technik erfolgen. Daher ist vor allem bei EMF-Quellen, die schon länger in Gebrauch sind, zu prüfen, ob die bereits durchgeführten Schutzmaßnahmen nach aktuellem Stand der Technik ausreichend sind. Eventuell ergeben sich aufgrund einer aktualisierten Gefährdungsbeurteilung neue oder zusätzliche Schutzmaßnahmen. Für weitere Informationen wird auf die Empfehlungen zur Betriebssicherheit EmpfBS 1114 verwiesen.
- (3) Nach § 3 Absatz 6 EMFV kann eine vereinfachte Gefährdungsbeurteilung durchgeführt werden, wenn Art und Umfang der möglichen Gefährdungen durch EMF dies rechtfertigen (siehe Abschnitt 6.4). Wird eine vereinfachte Gefährdungsbeurteilung durchgeführt, ist dies nach § 3 Absatz 6 Satz 3 EMFV durch den Arbeitgeber zu begründen.
- (4) Nach § 3 Absatz 4 Nummer 11 EMFV hat der Arbeitgeber bei der Gefährdungsbeurteilung alle Auswirkungen auf die Gesundheit und Sicherheit von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten zu berücksichtigen, insbesondere wenn der Arbeitgeber darüber informiert ist.

Hinweis: Erfolgt eine Bewertung der Gefährdung für besonders schutzbedürftige Beschäftigte, ist je nach Einordnung der Expositionssituation auch bei Unterschreitung der ALS die Ableitung und Durchführung von Maßnahmen erforderlich.

(5) Der Arbeitgeber hat den Betriebsarzt an der Gefährdungsbeurteilung zu beteiligen und die verallgemeinerten Erkenntnisse des Betriebsarztes aus der arbeitsmedizinischen Vorsorge zu berücksichtigen (siehe AMR 3.2).

3.2 Ermittlung und Bewertung

(1) § 3 EMFV präzisiert die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung nach § 5 ArbSchG hinsichtlich EMF.

(2) Danach hat der Arbeitgeber zunächst festzustellen, ob EMF am Arbeitsplatz auftreten oder auftreten können. Ist dies der Fall, hat er alle hiervon ausgehenden Gefährdungen für die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten zu beurteilen. Er hat hierzu die auftretenden Expositionen durch EMF am Arbeitsplatz zu ermitteln und anschließend zu bewerten. Ebenso sind die indirekten Wirkungen durch EMF am Arbeitsplatz zu bewerten. Dabei sind die verschiedenen Betriebszustände der Anlagen oder Betriebsmittel zu berücksichtigen. Nach § 3 EMFV ist für die Beschäftigten in jedem Fall eine Gefährdung gegeben, wenn EGW oder die zugehörigen ALS überschritten werden. Es sind aber auch solche Gefährdungen zu betrachten, für die keine EGW vorliegen (z. B. indirekte Wirkungen, siehe Abschnitt 6.8 und 6.9). Die EGW und ALS sind in Teil 2 Anhang 1 aufgeführt.

3.3 Organisation und Verantwortung

(1) Die Gefährdungsbeurteilung umfasst die systematische Beurteilung (Ermittlung und Bewertung) aller einwirkenden EMF aus der Arbeitsumgebung auf den Arbeitsplatz (siehe Teil 1 Kapitel 4) des Beschäftigten mit dem Ziel, erforderliche Maßnahmen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit festzulegen, durchzuführen und damit die Gefährdungen durch EMF zu beseitigen oder zu minimieren. Die Gefährdungsbeurteilung betrachtet alle vorhersehbaren Arbeitsabläufe im Betrieb und umfasst alle Gefährdungsfaktoren. Bei gleichartigen Betriebsstätten, Arbeitsverfahren oder Arbeitsplätzen mit vergleichbaren Gefährdungen ist es möglich, die Gefährdungsbeurteilungen zusammenzufassen.

(2) Die individuellen Aspekte der besonders schutzbedürftigen Beschäftigten, z. B. Implantatträger, sind bei der Gefährdungsbeurteilung und Aufgabenübertragung durch den Arbeitgeber zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 6.9).

(3) Zur systematischen Beurteilung der Arbeitsbedingungen werden die in Abbildung 3.1 dargestellten Prozessschritte durchgeführt.

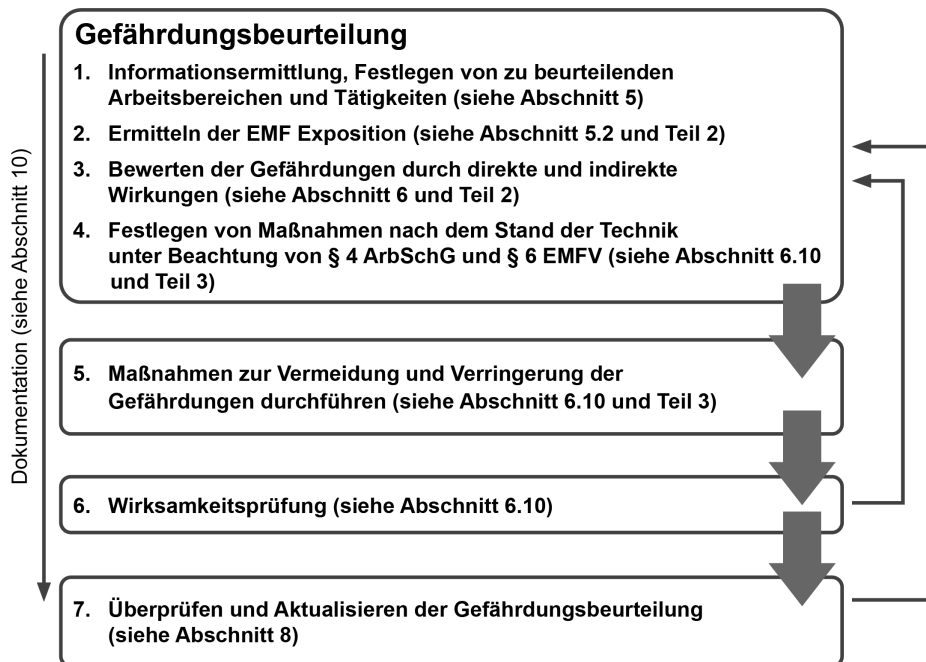


Abb. 3.1 Prozessschritte zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung

(4) Die Beurteilung von Art, Ausmaß und Dauer der Exposition durch EMF erfolgt in der Regel arbeitsplatz- oder tätigkeitsbezogen unter Berücksichtigung aller vernünftigerweise vorhersehbaren Expositionsbedingungen, inklusive vorhersehbarer Betriebsstörungen und der Gefährdungen bei Maßnahmen zu deren Beseitigung (nach § 3 Absatz 2 Satz 2 Nummer 4 BetrSichV). In Ausnahmefällen (z. B. bei besonders schutzbedürftigen Beschäftigten) ist es ergänzend möglich, die Gefährdungsbeurteilung auch personenbezogen (individuell) durchzuführen. Dazu werden dann zunächst die arbeitsplatzbezogenen Expositionen bestimmt.

(5) Der Arbeitgeber darf bei möglichen EMF-Expositionen der Beschäftigten die Tätigkeit erst aufnehmen lassen, nachdem eine Gefährdungsbeurteilung vorgenommen worden ist und die daraus abgeleiteten Maßnahmen wirksam umgesetzt worden sind.

(6) Die Verantwortung für die Gefährdungsbeurteilung liegt beim Arbeitgeber.

(7) Verfügt der Arbeitgeber nicht über die erforderliche Fachkunde und die entsprechenden Kenntnisse zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen bei EMF-Exposition, hat er sich nach § 4 Absatz 1 EMFV fachkundig beraten zu lassen. Diese Beratung kann beispielsweise die Fachkraft für Arbeitssicherheit durchführen, sofern die erforderliche Fachkunde vorliegt (siehe Abschnitt 3.4). Die Erstellung der Gefährdungsbeurteilung kann an eine oder mehrere fachkundige Personen delegiert werden. Dazu ist es erforderlich, dass die für den Arbeitgeber tätig werdenden Personen über die notwendigen betriebsspezifischen Kenntnisse verfügen, Einsicht in alle für die Gefährdungsbeurteilung erforderlichen Unterlagen erhalten und im Besitz aller notwendigen Informationen sind.

(8) Werden für die Durchführung von Arbeiten Fremdfirmen beauftragt und besteht die Möglichkeit einer Gefährdung durch Exposition gegenüber EMF, haben nach § 8 ArbSchG in Verbindung mit § 13 BetrSichV alle betroffenen Arbeitgeber bei der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung zusammenzuwirken. Dabei muss sichergestellt werden, dass über auftretende Gefahren für Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten informiert wird und erforderliche Maßnahmen abgestimmt werden.

Hinweis 1: Bei Standorten für Rundfunk- oder Mobilfunkanlagen ist für einen umfassenden Arbeits- und Gesundheitsschutz meist eine Abstimmung zwischen dem Eigentümer der Liegenschaft oder des Gebäudes, dem Anlagenbetreiber und ggf. Mitbenutzern des Standorts erforderlich. Die Informationsbereitstellung erfolgt hierbei durch den Anlagenbetreiber.

Hinweis 2: Dem für die EMF-Quelle(n) verantwortlichen Arbeitgeber wird empfohlen, sich zu vergewissern, dass die Beschäftigten der anderen Arbeitgeber für ihre Tätigkeiten in Bezug auf die EMF-Quelle(n) angemessene Anweisungen erhalten haben.

(9) Die Gefährdungsbeurteilung muss auch Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen von EMF berücksichtigen, z. B.:

1. Einwirkungen auf medizinische Vorrichtungen oder Geräte einschließlich Herzschrittmachern sowie anderer aktiver oder passiver medizinischer Implantate oder am Körper getragener medizinischer Geräte,
2. Projektilwirkung ferromagnetischer Gegenstände in statischen Magnetfeldern,
3. Auslösung von elektrischen Zündvorrichtungen (Detonatoren),
4. Brände oder Explosionen durch die Entzündung von brennbaren Materialien aufgrund von Funkenbildung sowie
5. Entladungen und Kontaktströme.

3.4 Fachkundige Personen

(1) Die Anforderungen an eine fachkundige Person umfassen im Sinne von § 2 Absatz 8 EMFV eine entsprechende Berufsausbildung oder Berufserfahrung jeweils in Verbindung mit einer zeitnah ausgeübten einschlägigen beruflichen Tätigkeit sowie die Teilnahme an spezifischen Fortbildungsmaßnahmen.

Hinweis: Diese Fortbildungsmaßnahmen werden z. B. von Trägern der gesetzlichen Unfallversicherung, Technischen Akademien oder ähnlichen Institutionen angeboten. Die zeitlichen Abstände zwischen den Fortbildungsmaßnahmen hängen davon ab, inwieweit sich der Stand der Technik im Hinblick auf die eingesetzten EMF-Quellen oder die Vorschriften weiterentwickelt hat. Grundsätzlich wird eine Fortbildung in einem Zeitraum von fünf Jahren als angemessen erachtet.

(2) Die fachkundige Person für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung kennt sich mit den Vorschriften und Regelwerken soweit aus, dass sie in der Lage ist, im Rahmen ihrer Fachkunde Gefährdungen von Beschäftigten vor Beginn deren Tätigkeit zu ermitteln, zu bewerten und geeignete Maßnahmen abzuleiten. Die fachkundige Person, die die Gefährdungsbeurteilung durchführt, zieht bei Bedarf andere Fachkundige hinzu, um ergänzende Fachkunde einzuholen.

(3) Die Gefährdungsbeurteilung von EMF verlangt folgende Kenntnisse über:

1. die anzuwendenden Rechtsgrundlagen,
2. die physikalischen Grundlagen von EMF,
3. die für die Beurteilung geeigneten Informationsquellen,
4. den für die Beurteilung anzuwendenden Stand der Technik,
5. die direkten und indirekten Wirkungen von EMF,
6. das Vorgehen bei der Beurteilung der Gesamtexposition verschiedener einwirkender EMF-Quellen,
7. die Tätigkeiten im Betrieb, bei denen Personen EMF ausgesetzt sein können,
8. die technischen, organisatorischen und personenbezogenen Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdungen von Beschäftigten,
9. die alternativen Arbeitsverfahren,
10. die Überprüfung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdungen von Beschäftigten und
11. die Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung.

(4) Weitere fachkundige Personen im Sinne des § 4 Absatz 1 EMFV sind solche für Messungen oder Berechnungen von EMF. Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber EMF dürfen nur von Personen durchgeführt werden, die über die dafür notwendige Fachkunde und die erforderlichen Einrichtungen, wie z. B. Messtechnik, Berechnungsverfahren oder Simulationssoftware, verfügen.

(5) Fachkundige Personen für Messungen oder Berechnungen verfügen je nach Aufgabenstellung über die unter Absatz 3 aufgelisteten Kenntnisse. Darüber hinaus besitzt die fachkundige Person zusätzliche Kenntnisse in der EMF-Messtechnik, in Berechnungsverfahren oder in Simulationssoftware nach dem Stand der Technik, über die Durchführung von Expositionsmessungen oder -berechnungen und die Beurteilung der Ergebnisse. Die Kenntnisse sind auf dem aktuellen Stand zu halten.

3.5 Gefährdungsbeurteilung bei gleichartigen Arbeitsbedingungen

Bei gleichartigen Arbeitsbedingungen reicht in der Regel die Beurteilung eines Arbeitsplatzes oder einer Tätigkeit aus. Tätigkeiten, die aufgrund der Arbeitsbedingungen als gleichartig angesehen werden, lassen sich zusammenfassen. Die Dokumentation kann arbeitsplatz- oder tätigkeitsbezogen und unter Umständen auch personenbezogen erfolgen. Bei einer arbeitsplatzbezogenen Dokumentation muss nachvollziehbar sein, welchem Arbeitsplatz die Beschäftigten zuzuordnen sind. Die Anforderungen an die Dokumentation sind im Abschnitt 10 beschrieben.

4 Expositionszonen

(1) Expositionszonen stellen eine Handlungshilfe zur Umsetzung des Schutzkonzepts der EMFV dar. Der Bewertung der Exposition gegenüber EMF mittels Expositionszonen liegen ausschließlich kontinuierliche sinusförmige Signalverläufe zugrunde. Zur Bewertung der Exposition gegenüber EMF mit nicht konstanter Leistungsabgabe können Verfahren, wie in Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.45 und Teil 2 Abschnitt 8 erläutert, angewendet werden. Die Bewertung der Exposition gegenüber EMF mit Expositionsdauern ≤ 6 min erfolgt nach Teil 2 Abschnitt 8 in Verbindung mit Teil 2 Anhang A1.6.

Hinweis: Es ist möglich, das Expositionszonenkonzept zur Bewertung von EMF-Quellen mit nicht konstanter Leistungsabgabe heranzuziehen, wenn die entsprechende Bewertungsgrundlage mit der dem Expositionszonenkonzept zugrundeliegenden Bewertungsgrundlage (siehe Abschnitt 4 und Teil „Allgemeines“ Abschnitt 7) übereinstimmt.

(2) Bei der Bewertung der Exposition gegenüber EMF auf Basis der Expositionszonen muss sichergestellt werden, dass Gefährdungen durch:

1. andere indirekte Wirkungen als die Beeinflussung von Implantaten im Sinne des Forschungsberichts FB 451 oder im oder am Körper befindlicher Fremdkörper (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.20 Nummern 5 – 7), also:
 - a) Auslösung von elektrischen Zündvorrichtungen (Detonatoren) und
 - b) Brände oder Explosionen durch die Entzündung von brennbaren Materialien aufgrund von Funkenbildung,
 - c) Entladungen und Kontaktströme (bei elektrischen Feldern) sowie
2. Kontaktströme und in Gliedmaßen induzierte Ströme (für EMF mit Frequenzen von $100 \text{ kHz} \leq f \leq 110 \text{ MHz}$)

ausgeschlossen werden.

(3) Mittels Expositionszonen wird der Bezug zwischen der Höhe der EMF-Exposition und der möglichen Wirkung auf die Beschäftigten, den einzuhaltenden ALS und den erforderlichen Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten hergestellt.

(4) Die in den Expositionszonen einzuhaltenden Schwellenwerte und ALS sind in Teil 2 Anhang A1.2 aufgeführt.

(5) Ist die Höhe der Exposition gegenüber EMF der Expositionszone 0 zuzuordnen, sind keine technischen Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten erforderlich. Die Pflicht zur Unterweisung nach § 19 EMFV bleibt hiervon unberührt.

Hinweis: Indirekte Gefährdungen durch EMF und andere Gefährdungsfaktoren werden im Expositionszonenkonzept nicht berücksichtigt und müssen gesondert betrachtet werden, z. B. Brand und Explosion durch elektrischen Überschlag.

(6) Der Arbeitgeber stellt sicher, dass bei Überschreitung der den Expositionszonen zugrunde gelegten Schwellenwerte und ALS die erforderlichen Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten durchgeführt werden. Die Durchführung von Maßnahmen setzt voraus, dass der Verantwortliche für die Durchführung der Maßnahme auch das Durchsetzungsrecht der entsprechenden Maßnahme besitzt. Beispiele hierfür sind Zutrittsbeschränkungen im Zusammenhang mit ortsveränderlichen EMF-Quellen in öffentlich zugänglichen Bereichen, wie stationär betriebene Radar-, Mobil- oder Rundfunkanlagen.

(7) Die nachfolgenden Tabellen 4.1 für elektrische Felder und 4.2 für magnetische Felder geben in Ergänzung zu Teil „Allgemeines“ Abbildungen 7.1 und 7.2 einen Überblick über das frequenzabhängige Auftreten der Expositionszonen inklusive der zu überprüfenden ALS mit einer kurzen Zusammenfassung der potentiell durchzuführenden Maßnahmen.

Tab. 4.1 Expositionszonen für elektrische Felder, thermische Wirkungen

Legende: ALS Kontaktströme nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle 1.15; ALS stationäre Kontaktströme nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle 1.22; ALS für thermische Wirkungen nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle 1.21; f – Frequenz in Hz; oALS nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle 1.13; Schwellenwert aktiver kardialer Implantate nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle 1.25; u/oALS – untere und obere ALS – anzuwenden, wenn uALS = oALS; uALS nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle 1.13

Expositionszone	Prüfung (siehe Teil 2)	Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung von Gefährdungen (siehe Teil 3)	elektrische Felder, thermische Wirkungen			
			bis 1 MHz	bis 3,68 MHz	bis 6 GHz	bis 300 GHz
0	<ul style="list-style-type: none"> - <u>entfällt</u>, wenn andere indirekte Wirkungen als die in Expositionszone 1 ausgeschlossen werden können, sonst: - Einhaltung der Schwellenwerte nach Teil 2 Anhang 1 Tabellen A1.25 bis A1.28 sowie uALS und ALS therm. Wirkungen 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>keine</u>, wenn andere indirekte Wirkungen als die in Expositionszone 1 ausgeschlossen werden können 	0	0	0	0
2	<ul style="list-style-type: none"> - Einhaltung oALS bzw. ALS therm. Wirkungen? 	Maßnahmen aus Expositionszone 1 und zusätzlich: <ul style="list-style-type: none"> - Kennzeichnung (allgemein, Ausnahme nach § 6 Absatz 3 EMFV) - Zugangsbeschränkung, Abgrenzung (allgemein) - Unterweisung (allgemein) - Maßnahmen nach § 10 EMFV (uALS E-Feld), nach § 12 EMFV (uALS B-Feld) und § 14 EMFV (EGW sensorisch), z. B. <ul style="list-style-type: none"> · Beschränkung auf „kurzzeitige Einzelereignisse unter definierten Betriebsbedingungen“ · Nachweis der Einhaltung der EGW sensorisch (für $f \leq 400$ Hz) (Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.10 für E- und B-Feld) 	2	2		
Gefahrenzone		Maßnahmen nach Expositionszone 2 und zusätzlich: <ul style="list-style-type: none"> - geeignete Maßnahmen, um einen Zutritt zur oder Hineinlangen in die Gefahrenzone zu verhindern 	oALS	ALS therm. Wirkungen		
			Gefahrenzone	Gefahrenzone	Gefahrenzone	Gefahrenzone

Tab. 4.2 Expositionszonen für magnetische Felder, thermische Wirkungen

Legende: ALS Kontaktströme nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle 1.15; ALS stationäre Kontaktströme nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle 1.22; ALS-Gliedmaßen nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.14; ALS für thermische Wirkungen nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle 1.21; f – Frequenz in Hz; oALS nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle 1.14; Schwellenwert aktiver kardialer Implantate nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle 1.26; u/oALS – untere und obere ALS – anzuwenden, wenn uALS = oALS; uALS nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle 1.14

Expositionszone	Prüfung (siehe Teil 2)	Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung von Gefährdungen (siehe Teil 3)	elektrische Felder, thermische Wirkungen		
			bis 103,6 kHz	bis 6 GHz	bis 300 GHz
0	<ul style="list-style-type: none"> - <u>entfällt</u>, wenn andere indirekte Wirkungen als die in Expositionszone 1 ausgeschlossen werden können, sonst: - Einhaltung der Schwellenwerte nach Teil 2 Anhang 1 Tabellen A1.25 bis A1.28 sowie ALS thermische Wirkungen 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>keine</u>, wenn andere indirekte Wirkungen als die in Expositionszone 1 ausgeschlossen werden können 	0	0	0
Gefahrenzone		geeignete Maßnahmen, um einen Zutritt zur oder Hineinlangen in die Gefahrenzone zu verhindern	Schwellenwert aktive Implantate	ALS therm. Wirkungen	ALS therm. Wirkungen
			Gefahrenzone	Gefahrenzone	Gefahrenzone

5 Informationsermittlung

5.1 Allgemeines

- (1) Der Arbeitgeber hat zunächst zu ermitteln, ob EMF bei Tätigkeiten am Arbeitsplatz zu einer Exposition des Beschäftigten oder zu anderen indirekten Auswirkungen für den Beschäftigten führen können. Treten EMF mit $f \leq 10$ MHz auf, muss zusätzlich die TREMF NF zur Beurteilung nichtthermischer Wirkungen hinzugezogen werden.
- (2) Eine EMF-Exposition besteht bei einer Vielzahl von Arbeitsverfahren, -bereichen, EMF-Quellen oder beruflichen Tätigkeiten. Eine beispielhafte Aufzählung findet sich in Anhang 1 Tabelle A1.1 und Anhang 2 Tabelle A2.1. Die Aufzählung enthält eine Entscheidungshilfe zur Unterscheidung zwischen Expositionssituationen, die Schutzmaßnahmen erfordern und Expositionssituationen, von denen keine Gefährdungen ausgehen.
- (3) Veröffentlichte Messergebnisse können im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung genutzt werden, sofern sie auf die zu beurteilende Arbeitsplatzsituation übertragbar, plausibel und vollständig sind.

5.2 Informationsquellen für die Gefährdungsbeurteilung

- (1) Sind am Arbeitsplatz EMF-Quellen vorhanden, bei denen eine Gefährdung durch EMF nicht auszuschließen ist (siehe z. B. entsprechende Klassifizierung nach Anhang 1 Tabelle A1.1 und Anhang 2 Tabelle A2.1), sind diese aufzulisten. Für Expositionen durch diese Quellen ist die Gefährdungsbeurteilung in den folgenden Schritten weiterzuführen. Sind am Arbeitsplatz hingegen EMF-Quellen vorhanden, bei denen von keiner Gefährdung durch EMF auszugehen ist (siehe z. B. entsprechende Klassifikation nach Anhang 1 Tabelle A1.1 und Anhang 2 Tabelle A2.1), ist diese Bewertung im Rahmen einer vereinfachten Gefährdungsbeurteilung zu dokumentieren.
- (2) Es ist zu prüfen, welche Informationen über die vorhandenen EMF-Quellen und Expositionssituationen vorliegen und plausibel sind. Daraus lassen sich gegebenenfalls zu erwartende EMF-Expositionen abschätzen und Rückschlüsse auf mögliche Gefährdungen ziehen. Liefern verfügbare Produktinformationen (Bedienungsanleitung und andere Herstellerangaben) der EMF-Quellen Informationen zu den möglichen Expositionssituationen mit erforderlichen Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdungen, so sind diese für die Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen.
- (3) Bei Anlagen oder Maschinen, die aus mehreren Komponenten bestehen, ist darauf zu achten, dass sich Herstellerangaben möglicherweise nur auf einzelne Komponenten beziehen und somit für eine Bewertung der Gesamtexposition an der entsprechenden Anlage oder Maschine unter Umständen nicht ausreichend sind. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn verschiedene Komponenten (Sender, Kabel, Antenne) zu einer Sendeanlage kombiniert werden.
- (4) Zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung können ergänzend zur EMF-Emission der vorhandenen EMF-Quellen auch Angaben zu den Abständen der Beschäftigten zu den Quellen notwendig sein.
- (5) Detaillierte Informationen über die EMF-Emissionen der vorhandenen EMF-Quellen muss sich der Arbeitgeber in der Regel beschaffen.

5.2.1 Abschätzung der Exposition

(1) Der Arbeitgeber beschafft sich die notwendigen Informationen über die EMF-Emission beim Wirtschaftsakteur (Hersteller, Bevollmächtigter, Einführer oder Händler) nach § 2 Nummer 29 ProdSG, der die Produkte bzw. EMF-Quellen auf dem Markt bereitgestellt hat, oder aus anderen Informationsquellen (z. B. Anhang 1 Tabelle A1.1 und Anhang 2 Tabelle A2.1). Notwendige Informationen über die EMF-Emission können z. B. beinhalten:

1. Art des dominierenden Feldes (elektrisch, magnetisch, elektromagnetisch) sowie die Frequenz und der zeitliche Signalverlauf (z. B. sinusförmig),
2. Ausmaß, z. B. Feldstärken in verschiedenen Abständen oder bei verschiedenen Betriebszuständen bzw. Anlagenparametern,
3. Dauer (kontinuierlich oder zeitlich begrenzt), z. B. eines Schweißimpulses,
4. die für die abhängig von der(n) Frequenz(en) der EMF-Emission maximal zulässige(n) Expositionsdauer(n),
5. die bei ungünstigsten Betriebsbedingungen für die auftretende(n) Frequenz(en) zu erwartenden maximalen Emissionswerte,
6. Kennzeichnungspflichten nach § 6 Absatz 3 EMFV,
7. Abstände zur Einhaltung der entsprechenden EGW und ALS und
8. Lage der Expositionszonen oder Sicherheitsabstände.

(2) Liegen ausreichende und belastbare Daten zur EMF-Emission und erforderlichenfalls nachfolgende weitere Angaben vor, ist eine Abschätzung der Höhe der EMF-Exposition und damit auch, ob ALS eingehalten oder überschritten werden, möglich. Zusätzliche erforderliche weitere Angaben können sein:

1. Arbeits- und Aufenthaltsbereiche bzw. Verkehrswege von Beschäftigten oder
2. Arbeitshaltung, insbesondere bei lokaler Exposition oder inhomogenen Feldern.

(3) Situationen mit gleichzeitiger Exposition gegenüber mehreren Quellen oder Feldern mehrerer Frequenzen werden beachtet.

5.2.2 Berechnung der Exposition

Für die Berechnung der Exposition sind Fachkenntnisse zur Berechnung von EMF erforderlich. Die Berechnung erfolgt nach dem Stand der Technik. Zur Einordnung der Berechnungsergebnisse sind Informationen z. B. über Betriebszustand, Signalform, Frequenzbereich, zeitlichen Verlauf der Stromstärke und Spannung oder Abstände der Beschäftigten zur EMF-Quelle in der Ergebnisdokumentation der Berechnung notwendig.

5.2.3 Messung der Exposition

Für die Messung der Exposition sind Fachkenntnisse zur Messung von EMF erforderlich. Die Messung erfolgt nach dem Stand der Technik. Zur Einordnung der Messergebnisse sind Informationen z. B. über Betriebszustand, Signalform, Frequenzbereich, zeitlichen Verlauf der Stromstärke und Spannung oder Abstände der Beschäftigten zur EMF-Quelle im Messprotokoll bzw. in der Ergebnisdokumentation notwendig.

5.2.4 Expositionsbewertung auf Basis öffentlich zugänglicher Daten

Nach § 3 Absatz 1 Satz 7 EMFV können Ergebnisse aus Expositionsbewertungen von der Öffentlichkeit zugänglichen Bereichen berücksichtigt werden, wenn die EGW nach Anhang 2 und 3 EMFV eingehalten werden und sicheres Arbeiten gewährleistet ist.

Hinweis: Informationsquellen für solche Ergebnisse sind z. B. Angaben über Sicherheitsabstände aus den Standortbescheinigungen für Funkanlagenstandorte der Bundesnetzagentur oder die Datenbank mit Herstellerangaben zu SAR-Werten des Bundesamts für Strahlenschutz.

6 Durchführung der Gefährdungsbeurteilung

6.1 Allgemeines

(1) Bei der Beurteilung der Arbeitsbedingungen hat der Arbeitgeber zunächst festzustellen, ob die Beschäftigten EMF ausgesetzt sind oder ausgesetzt sein können (siehe z. B. entsprechende Klassifizierung nach Anhang 1 Tabelle A1.1 und Anhang 2 Tabelle A2.1). Ist dies der Fall, hat er alle hiervon ausgehenden Gefährdungen für die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten zu beurteilen. Dabei ist gegebenenfalls zwischen Normalbetrieb und anderen Betriebsarten zu unterscheiden.

(2) Hält die EMF-emittierende Anlage die Grenzwerte nach Anhängen 1 bis 3 26. BImSchV bzw. Anhängen 2 und 3 EU-Ratsempfehlung zu EMF 1999/519/EG ein, kann eine vereinfachte Gefährdungsbeurteilung durchgeführt werden (siehe Abschnitt 3.1 Absatz 3 und Abschnitt 6.4). Die Störwirkung auf aktive kardiale Implantate im Sinne des Forschungsberichts FB 451 ist auch bei Einhaltung der Grenzwerte nach Anhängen 1 bis 3 26. BImSchV zu beurteilen. Werden hingegen die Werte nach EU-Ratsempfehlung zu EMF 1999/519/EG eingehalten, sind Störwirkungen auf aktive kardiale Implantate im Sinne des Forschungsberichts FB 451 nicht zu erwarten und daher keine Maßnahmen erforderlich. Besteht hingegen ein großer Unterschied zwischen Effektiv- und Spitzenwert, ist die Einhaltung der Schwellenwerte nach Teil 2 Anhang 1 Tabellen A1.25 bis A1.28 zu prüfen.

(3) Emittiert die Anlage Frequenzen im Übergangsbereich mit $100 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$, müssen sowohl die Gefährdungen durch nichtthermische Wirkungen nach der vorliegenden TREMF als auch die thermischen Wirkungen von EMF nach der TREMF NF berücksichtigt werden. In diesem Rahmen wird auf das Zonenkonzept (siehe Abschnitt 4) verwiesen.

- (4) Die Gefährdungsbeurteilung bei EMF-emittierenden Anlagen umfasst insbesondere
1. die Ermittlung von Art, Ausmaß und Dauer der Exposition,
 2. die Berücksichtigung von Herstellerangaben zur bestimmungsgemäßen Verwendung der Anlage,
 3. die Prüfung der Einhaltung der ALS und EGW nach Teil 2 Anhang 1,
 4. die Beurteilung von indirekten Wirkungen,
 5. die Prüfung der Verfügbarkeit alternativer Produkte bzw. Arbeitsmittel, die zu einer geringeren Exposition der Beschäftigten führen (Substitutionsprüfung),
 6. die Festlegung von Schutzmaßnahmen (siehe Teil 3) auch zu indirekten Wirkungen und Überprüfung der Wirksamkeit,
 7. die Beachtung von Auswirkungen auf die Gesundheit und Sicherheit von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten und
 8. die Festlegung von Kennzeichnungen und Abgrenzungen.

Abbildung 6.1 zeigt beispielhaft den Ablauf einer Gefährdungsbeurteilung in Bezug auf EMF.

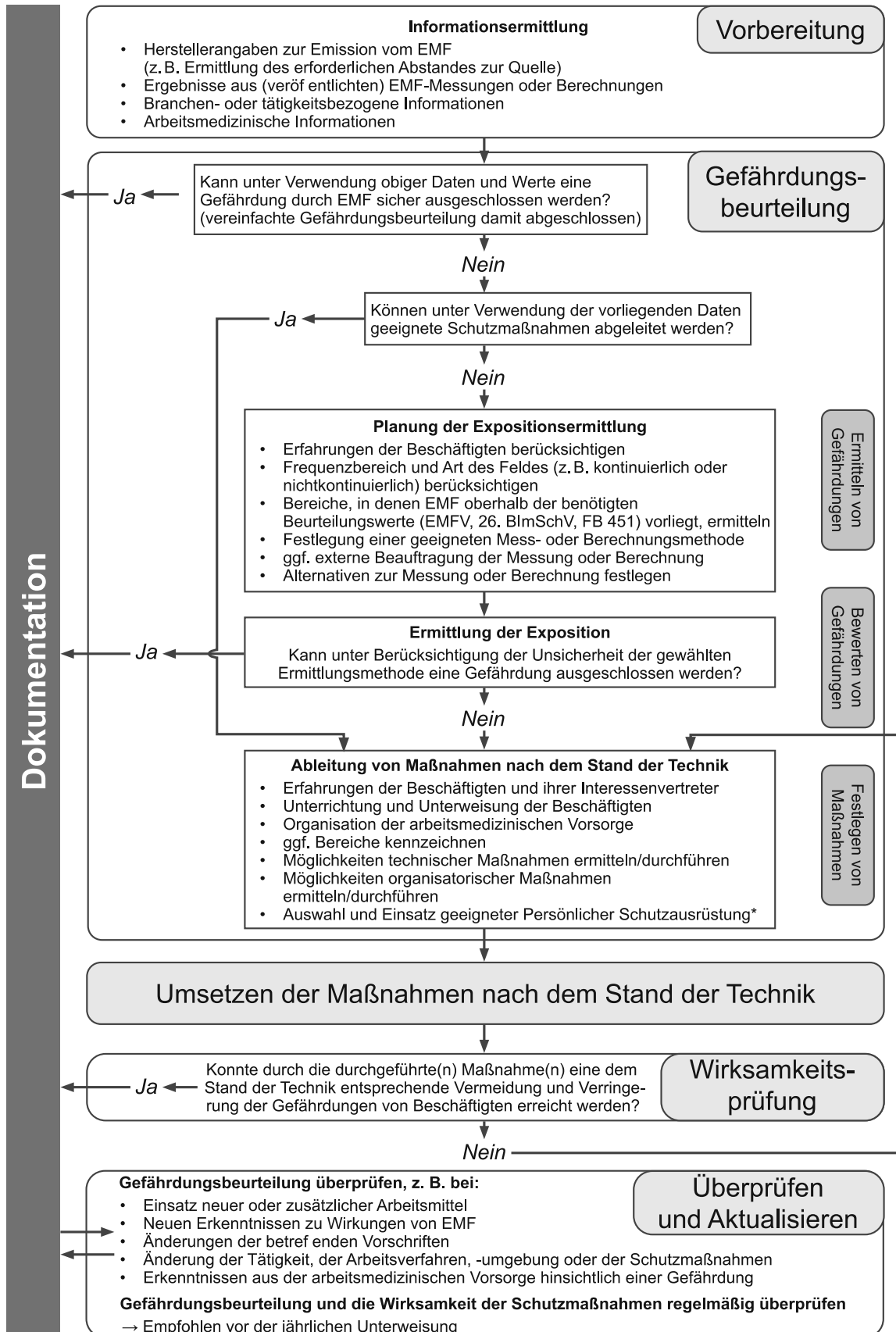


Abb. 6.1 Ablauf der Gefährdungsbeurteilung bei EMF-Expositionen;
*Zur Zeit der Drucklegung und Veröffentlichung dieser TREMF war am Markt keine PSA zum Schutz vor Gefährdungen durch EMF verfügbar.

6.2 Tätigkeitsanalyse

Die Arbeits- und Expositionsbedingungen werden vor der Messung, Berechnung oder Simulation möglichst genau festgestellt. Dazu gehören u. a. Informationen:

1. zu Tätigkeiten an der EMF-Quelle und den verwendeten Betriebsarten,
2. zu Expositionsbedingungen und Angaben zu den exponierten Beschäftigten (inklusive Beschäftigte, die die EMF-Quelle(n) passieren), wie z. B. Aufenthaltsbereiche, -zeiten, durchzuführende Tätigkeiten, Expositionsdauer und -häufigkeit sowie deren zeitlicher Verlauf, Schichtbetrieb, Personengruppen sowie Bewegungen in Bezug auf die emittierende EMF-Quelle,
3. zur emittierenden EMF-Quelle (Art, Dauer und Ausmaß der Emission), beeinflusst durch Generatorleistung, gegebenenfalls Modulation, Leiterströme und -spannungen,
4. zu eingenommenen Arbeitspositionen in Bezug auf die verschiedenen Tätigkeiten,
5. zu vorhandenen Schutzeinrichtungen und persönlicher Schutzausrüstung gegen Gefahren durch EMF und
6. zur verwendeten Kleidung/Ausrüstung, die durch EMF beeinflusst wird (z. B. Erwärmung).

Hinweis: Zur Zeit der Drucklegung und Veröffentlichung dieser TREMF war am Markt keine PSA zum Schutz vor Gefährdungen durch EMF verfügbar.

6.3 Übersicht über typische EMF-Quellen und Anforderungen an ihre Bewertung

(1) Ob für EMF-Quellen im Zusammenhang mit dem Einsatzort oder der Tätigkeit eine vereinfachte Gefährdungsbeurteilung ausreichend ist, kann anhand von Anhang 1 Tabelle A1.1 und Anhang 2 Tabelle A2.1 für die dort aufgeführten Quellen entschieden werden.

Hinweis 1: Anhang 1 Tabelle A1.1 und Anhang 2 Tabelle A2.1 erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Bei EMF-Quellen, die nicht in den Tabellen enthalten sind, sind weitere Informationsquellen (wie z. B. die Bedienungsanleitung) bei der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen.

Hinweis 2: Für eine individuelle Gefährdungsbeurteilung für besonders schutzbedürftige Beschäftigte ohne aktive Implantate (z. B. Träger passiver Implantate, Beschäftigte mit metallischen Fremdkörpern) sowie besonders schutzbedürftige Beschäftigte mit aktiven Implantaten (z. B. Herzschrittmacher, Insulinpumpe, Cochlea-Implantat) siehe Abschnitt 6.9.

(2) Bei den Angaben in Anhang 1 Tabelle A1.1 und Anhang 2 Tabelle A2.1, wie die EMF-Quellen bezüglich ihrer Gefährdung einzuordnen sind, wurde davon ausgegangen, dass diese den Produktsicherheitsvorschriften entsprechen und wie vom Hersteller vorgesehen installiert und betrieben werden.

6.4 Vereinfachte Gefährdungsbeurteilung

(1) Die Möglichkeit zur Durchführung einer vereinfachten Gefährdungsbeurteilung besteht, wenn Art und Umfang der EMF-Exposition ein Erreichen der unteren ALS oder der Schwellenwerte nach Teil 2 Anhang 1 Abschnitt A1.7 (für Träger von Implantaten im Sinne des Forschungsberichts FB 451) nicht erwarten lassen.

(2) Um zu prüfen, ob die Bedingungen für Absatz 1 erfüllt sind, sind zunächst folgende Schritte durchzuführen (siehe auch Abbildung 6.2):

1. Informationsermittlung,
2. Prüfen, ob besonders schutzbedürftige Beschäftigte zu berücksichtigen sind und
3. Bewerten der Expositionssituation anhand Anhang 1 Tabelle A1.1 und ggf. Anhang 2 Tabelle A2.1.

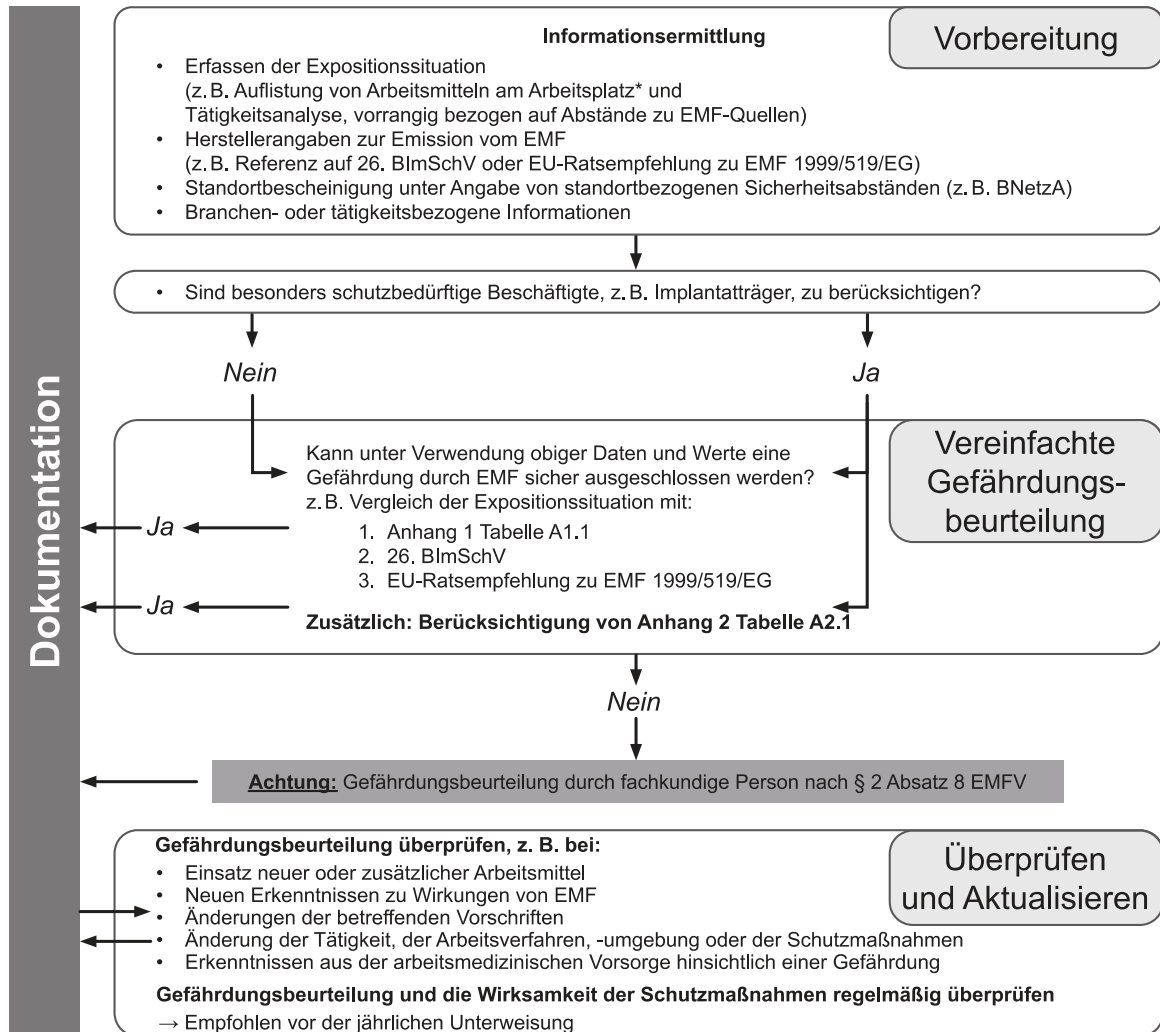


Abb. 6.2 Ablauf der vereinfachten Gefährdungsbeurteilung bei EMF-Expositionen |
* Definition Arbeitsplatz nach Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.1

(3) Ein Erreichen der unteren ALS oder der Schwellenwerte nach Teil 2 Anhang 1 Abschnitt A1.7 (für Träger von Implantaten im Sinne des Forschungsberichts FB 451) ist nicht zu erwarten, wenn eine oder mehrere der folgenden Bedingungen erfüllt ist/sind:

1. die Einordnung der Expositionssituation nach Anhang 1 Tabelle A1.1 bzw. Anhang 2 Tabelle A2.1, die eine Bewertung nicht erforderlich macht,
2. die Emission hält die Grenzwerte nach Anhängen 1 bis 3 26. BImSchV ein oder
3. die Emission hält Anhänge 2 und 3 EU-Ratsempfehlung zu EMF 1999/519/EG ein.

Hinweis 1: In diesen Fällen sind Berechnungen oder Messungen bzw. die Ableitung erforderlicher Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdungen nicht notwendig. Dadurch wird die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung vereinfacht.

Hinweis 2: Die Ergebnisse von vorhandenen Gefährdungsbeurteilungen sind zu berücksichtigen, wie z. B. mögliche Gefährdungen durch eine EMF-Quelle, die der Tätigkeit bzw. dem Arbeitsplatz nicht (unmittelbar) zugeordnet ist. Beispiele hierfür sind: Büroarbeitsplatz im möglichen Wirkungsbereich einer Trafostation des eigenen Arbeitgebers (z. B. direkt hinter der Wand im Nachbarraum oder Lagerraum für Büromaterial in direkter Umgebung zu einer Galvanikanlage).

- (4) Ergibt die Bewertung der EMF-Exposition, dass mindestens eine Bedingung nach Absatz 3 erfüllt ist, so wird die Gefährdungsbeurteilung mit der Dokumentation abgeschlossen.
- (5) Die Pflicht zur Unterweisung nach § 19 EMFV bleibt unberührt (siehe Abschnitt 7).
- (6) Die Voraussetzungen und Ergebnisse einer vereinfachten Gefährdungsbeurteilung sind regelmäßig zu überprüfen und fortzuschreiben.
- (7) Von einer vereinfachten Gefährdungsbeurteilung ausgenommen ist die individuelle Gefährdungsbeurteilung für besonders schutzbedürftige Beschäftigte nach Abschnitt 6.9.2.2.2.

6.5 Nachweis der Einhaltung von Expositionsgrenzwerten

(1) Um die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei Exposition gegenüber EMF zu gewährleisten, gibt die EMFV dem Arbeitgeber die Möglichkeit, neben ALS auch EGW zur Bewertung der Exposition heranzuziehen.

(2) Seitens des Arbeitgebers kann der Nachweis der Einhaltung der EGW durch drei Verfahren erbracht werden: Nachweis durch Messung, Berechnung oder Simulation (analytische und numerische Verfahren). Die Verfahren unterscheiden sich teils erheblich, z. B. hinsichtlich der erforderlichen Fachkenntnisse oder des Durchführungsaufwands.

Hinweis: Werden Berechnungs- und Simulationsverfahren eingesetzt, ist zu beachten, dass die Modellierung der Expositionssituation einen starken Einfluss auf die Genauigkeit des Ergebnisses hat. Dabei spielen die Nachbildung der EMF-Quelle und die Wahl des Körpermodells (homogenes Körpermodell aus einfachen geometrischen Formen (Scheibe, Ellipsoid o. Ä.) oder inhomogenes, detailliertes anatomisches Körpermodell) sowie dessen Positionierung zur EMF-Quelle eine entscheidende Rolle.

(3) Unabhängig vom verwendeten Verfahren ist die Unsicherheit anzugeben, siehe Teil 2 Abschnitt 5.

(4) Der Nachweis der Einhaltung des EGW gilt als erbracht, wenn der ermittelte Wert zzgl. der Unsicherheit den entsprechenden EGW unterschreitet.

(5) Werden EGW zur Bewertung der Exposition herangezogen, müssen die Anforderungen nach § 6 Absätze 4, 5 und 6 EMFV sowie die besonderen Festlegungen zum Schutz vor Gefährdungen nach §§ 15 bis 18 EMFV berücksichtigt werden.

(6) Nach § 2 Absatz 6 EMFV in Verbindung mit § 6 Absatz 1 und §§ 15 bis 18 EMFV kann aufgrund des Nachweises der Einhaltung von EGW auf die Durchführung von Schutzmaßnahmen bei Überschreitung von bestimmten ALS verzichtet werden.

Hinweis: Eine Einhaltung der ALS nach Teil 2 Anhang 1 Tabellen A1.21 und A1.22 bedeutet, dass auch die entsprechenden EGW eingehalten werden. Werden diese ALS überschritten, hat der Arbeitgeber nach § 2 Absatz 6 EMFV Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten zu ergreifen, es sei denn, die entsprechenden EGW sind nachweislich eingehalten. Es gelten die besonderen Festlegungen nach §§ 15 und 16 EMFV.

Tab. 6.1 Besondere Festlegungen zur Expositionsbewertung mittels EGW

Frequenzbereich	Art des Feldes		Entladungen und Kontaktströme
	Elektrisches Feld	Magnetisches Feld	
Hochfrequenz	ALS [von EGW abgeleitet] (§§ 15 und 16 EMFV)		

(7) Die Durchführung von Maßnahmen nach § 6 Absatz 3 EMFV (Kennzeichnung) und § 19 EMFV (Unterweisung) bleibt ungeachtet der Nutzung von ALS oder EGW zur Expositionsbewertung unberührt.

Hinweis: Für weitere Informationen siehe Teil 2 Abschnitt 9.

6.6 Beurteilung der Arbeitsbedingungen bei verschiedenen Betriebszuständen

Sind an einem Arbeitsplatz unterschiedliche Betriebszustände möglich, so sind diese auch hinsichtlich ihrer unterschiedlichen Gefährdungen zu bewerten. Besonderes Augenmerk ist hier z. B. auf Arbeiten bei Reinigung, Reparatur und auch Wartung zu legen. Die hierbei ermittelten Gefährdungen sind gerade für die Unterweisung der zuständigen Beschäftigten wichtig. Für weitere Informationen siehe Teil 3 Abschnitt 9.

6.7 Beurteilung der Arbeitsbedingungen bei Wechsel- und Kombinationswirkungen

Bezogen auf den Anwendungsbereich der vorliegenden TREMF sind keine Wechsel- und Kombinationswirkungen mit anderen physikalischen Faktoren bekannt.

6.8 Beurteilung von indirekten Wirkungen

(1) Der Arbeitgeber ist verpflichtet, Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen zu vermeiden. Sind diese nicht zu vermeiden, dann müssen sie so weit wie möglich vermindert werden.

(2) Der Arbeitgeber prüft:

1. ob die Sicherheit und Gesundheit von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten beeinträchtigt wird,
2. ob durch EMF-Exposition elektrische Zündvorrichtungen auslösen sowie Brände oder Explosionen durch die Entzündung von brennbaren Materialien aufgrund von Funkenbildung entstehen können,

Hinweis: Zur Beurteilung dieser Gefährdungen wird auf die TRGS der Reihen 700 und 800 verwiesen. Gegebenenfalls müssen zusätzliche Fachkunde eingeholt und weitere entsprechende Maßnahmen nach Sprengstoffgesetz (SprengG), Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) oder Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) ergriffen werden.

3. die Einhaltung der in Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.22 angegebenen ALS.

Hinweis: Die Kontaktströme entstehen hierbei nicht durch stromführende Leiter oder durch unter Spannung stehende Teile. Für weitere Informationen siehe auch Teil 2 Abschnitt 4.1.2 Absatz 9.

6.9 Auswirkungen auf die Sicherheit und Gesundheit von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten

6.9.1 Allgemeines

(1) Gefährdungen für besonders schutzbedürftige Beschäftigte liegen möglicherweise bereits in Bereichen vor, bei denen die ALS und EGW gemäß EMFV nicht überschritten werden.

(2) Die Gefährdungsbeurteilung hat insbesondere die Erfordernisse für besonders schutzbedürftige Beschäftigte zu berücksichtigen.

Hinweis: Die Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung nach JArbSchG bleibt hiervon unberührt.

(3) Dazu gehören insbesondere Personen mit (siehe auch Abbildung 6.3):

1. aktiven medizinischen Implantaten, insbesondere Herzschrittmachern,
2. passiven medizinischen Implantaten, die durch EMF beeinflussbar sind (z. B. Erwärmung oder Kraftwirkung),
3. medizinischen Geräten, die am Körper getragen werden, insbesondere Insulinpumpen,
4. sonstigen durch EMF beeinflussbaren Fremdkörpern im Körper,
5. eingeschränkter Thermoregulation, z. B. infolge von Medikamenteneinnahme.

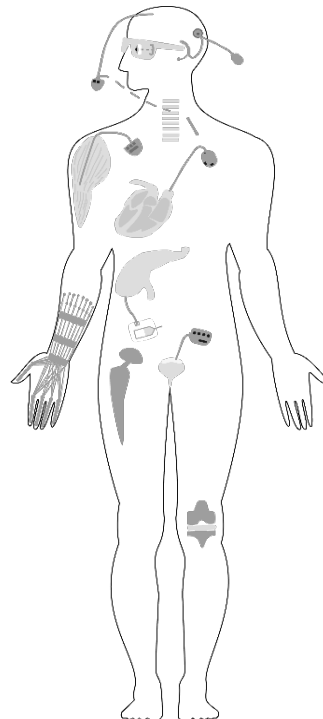


Abb. 6.3 Exemplarische Darstellung aktiver und passiver Implantate

Hinweis: Für weiterführende Informationen zur Hilfestellung bei der Beurteilung von Implantaten wird auf die DGUV-I 203-043 verwiesen bzw. hinsichtlich der allgemeinen Bewertung von aktiven kardialen und passiven Implantaten mittels zulässiger Werte (Schwellenwerte) auf den Forschungsbericht FB 451.

(4) Entsprechend dem Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung sind Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdung besonders schutzbedürftiger Beschäftigter festzulegen und gegebenenfalls individuell anzupassen.

(5) Der Arbeitgeber hat bei der Übertragung von Aufgaben auf Beschäftigte deren Befähigung für die Einhaltung der Bestimmungen zu Sicherheit und Gesundheitsschutz zu berücksichtigen (§ 7 ArbSchG).

6.9.2 Vorgehensweise bei der Bewertung der Gefährdung von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten

6.9.2.1 Allgemeines

(1) Es wird empfohlen, die Beeinflussbarkeit eines Implantats individuell unter Berücksichtigung der Exposition der Beschäftigten und der Eigenschaften des Implantats zu ermitteln (individuelle Gefährdungsbeurteilung).

(2) Im Rahmen der Unterweisung werden alle Beschäftigten darauf hingewiesen, dass die Voraussetzung zur Durchführung einer individuellen Gefährdungsbeurteilung für besonders schutzbedürftige Beschäftigte nur gegeben ist, wenn der Arbeitgeber von der besonderen Schutzbedürftigkeit Kenntnis erhält.

Hinweis: Für die vorausschauende Arbeitsgestaltung ist es empfehlenswert, dass der Arbeitgeber bereits vor der Implantation, z. B. über den Betriebsarzt, über die bevorstehende besondere Schutzbedürftigkeit des Beschäftigten unter Wahrung seiner Persönlichkeitsrechte informiert wird. Optimal ist hierbei die direkte Kommunikation zwischen behandelndem Arzt (z. B. Kardiologe) und Betriebsarzt mit dem Ziel, die betrieblichen Gegebenheiten bei der individuellen Anpassung des Implantats zu berücksichtigen.

(3) Ist die individuelle Gefährdungsbeurteilung wie für Besucher und Fremdpersonal nicht möglich, ist zu prüfen, ob auf Basis von Anhang 2 Tabelle A2.1 allgemeingültige organisatorische Maßnahmen abzuleiten sind.

6.9.2.2 Bewertung

Die Bewertung der Gefährdungen von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten erfolgt bereichsbezogen (siehe Abschnitt 6.9.2.2.1) oder individuell (siehe Abschnitt 6.9.2.2.2).

6.9.2.2.1 Ermittlung von Bereichen mit Gefährdungen für Implantatträger

(1) In Bereichen, die der Expositionszone 0 zugeordnet werden können, sind keine Maßnahmen für besonders schutzbedürftige Beschäftigte erforderlich.

(2) Oberhalb der Expositionszone 0 können für Beschäftigte mit passiven medizinischen Implantaten oder mit sonstigen durch magnetische Felder beeinflussbaren Fremdkörpern im Körper Gefährdungen entstehen, wenn die ermittelte Exposition die Werte nach Teil 2 Anhang 1 Tabellen A1.27 und A1.28 überschreitet. In diesem Fall sind die zu ergreifenden Schutzmaßnahmen individuell zu ermitteln.

(3) Oberhalb der Expositionszone 0 oder bei Überschreitung der Schwellenwerte nach Teil 2 Anhang 1 Tabellen A1.25 und A1.26 wird für Beschäftigte mit aktiven medizinischen Implantaten oder mit medizinischen Geräten, die am Körper getragen werden, die Beeinflussbarkeit des Implantats oder medizinischen Gerätes nur individuell ermittelt. Ohne Bewertung der Beeinflussbarkeit ist der Aufenthalt von Beschäftigten mit aktivem medizinischem Implantat in diesen Bereichen nicht zulässig.

6.9.2.2.2 Individuelle Ermittlung der Beeinflussbarkeit von Implantaten

Ist der Implantatträger dem Arbeitgeber bekannt, so lässt sich eine individuelle Lösung nach § 3 Absatz 7 EMFV für den Beschäftigten anhand der folgenden Vorgehensweise erarbeiten (siehe auch Abbildung 6.4):

1. Ermittlung der Arbeits- und Aufenthaltsbereiche

Es sind die Bereiche zu bestimmen, in denen sich der Implantatträger während seiner Arbeitszeit und der Arbeitspausen aufhält. Hierzu gehören auch die Zugangswege zu Arbeits- und Aufenthaltsbereichen sowie Flucht- und Rettungswege.

2. Ermittlung der Feldquellen

Bei der Ermittlung der Feldquellen sind alle feldrelevanten Arbeits- und Betriebsmittel sowie Anlagen innerhalb der Arbeits- und Aufenthaltsbereiche und deren Zugangs- sowie Flucht- und Rettungswege zu berücksichtigen. Als Hilfestellung kann hier die Zuordnung der Bereiche zu den in Abschnitt 4 und Teil „Allgemeines“ Abschnitt 7 dargestellten Expositionszonen oder Anhang 2 Tabelle A2.1 dienen.

3. Ermittlung der Exposition

Die Ermittlung der Exposition erfolgt durch einen Fachkundigen nach § 4 Absatz 1 EMFV. Neben den grundsätzlichen Anforderungen zur Ermittlung der Exposition (siehe Teil 2) sind insbesondere folgende Punkte zu beachten:

- a) Betriebszustände der Feldquelle,
- b) die Arbeitsposition und die Körperhaltung des Implantatträgers,
- c) Art der Störbeeinflussung, z. B. die lokalen Feldstärken am Ort des Implantats oder im Bereich des Thorax und
- d) bei kardialen Implantaten: Felder mit Frequenzen, die mit dem physiologischen Herzsignal (Wiederholffrequenz 0,2 Hz bis 5 Hz) verwechselt werden können sowie Felder, die im Frequenzbereich bis 1 kHz – einschließlich durch Überlagerung zweier ähnlicher Frequenzen möglicherweise entstehender Schwebungsfrequenzen – liegen.

4. Ermittlung der Eigenschaften des Implantats

Zur Beurteilung der Beeinflussbarkeit aktiver Implantate sind neben Hersteller und Typ des Implantats auch weitere Parameter zu ermitteln. Für Herzschrittmacher sind dies insbesondere die Funktionsweise (Schrittmachermodus), die Art der Elektroden, die Betriebsart und die programmierte Empfindlichkeit. Die meisten dieser Informationen können dem Implantatausweis entnommen werden.

5. Ermittlung und Bewertung der Störbeeinflussung

Die Ermittlung und Bewertung der Störbeeinflussbarkeit aktiver oder passiver Implantate oder sonstiger Fremdkörper oder medizinischer Vorrichtungen und Geräte, die am Körper getragen werden, kann mittels nachstehender Verfahren erfolgen:

- a) Vergleich der Exposition mit Schwellenwerten nach Teil 2 Anhang 1 Tabellen A1.25 bis A1.28: Je nach vorliegender Art des Implantats (aktiv/passiv) und Art der Exposition (elektrisch/magnetisch) sind bei Einhaltung des entsprechenden Schwellenwertes weder für Beschäftigte noch für besonders schutzbedürftige Beschäftigte Schutzmaßnahmen erforderlich.
- b) Vergleich der Exposition mit zulässigen Werten anhand individueller Eigenschaften des Implantats,
- c) alternative Ermittlung der Störbeeinflussung: Es können alternative Verfahren für die Ermittlung der Störbeeinflussung verwendet werden. Dies kann beispielsweise aufgrund der Ermittlung von Schwellenwerten anhand individueller Eigenschaften des Implantats oder durch eine Überprüfung der Störbeeinflussung mittels Messungen an einem Arbeitsplatz erfolgen [DGUV-I 203-043].

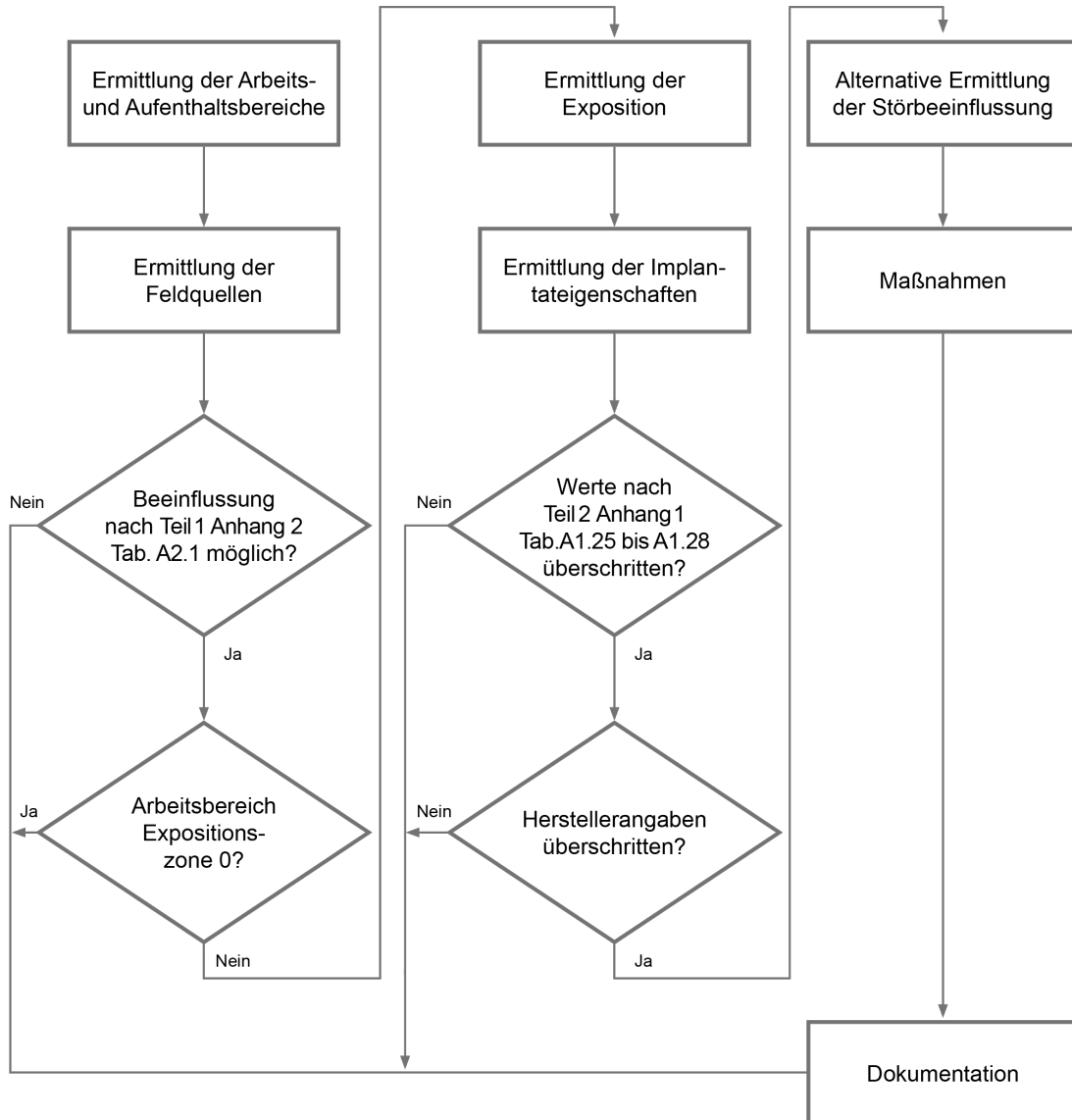


Abb. 6.4 Ablaufdiagramm zur Bewertung der Störbeeinflussung von Implantaten

6.9.3 Maßnahmen

(1) Arbeitsbereiche mit Gefährdungen für besonders schutzbedürftige Beschäftigte, insbesondere oberhalb der Expositionszone 0, müssen mit dem Verbotssymbol P007 (siehe Teil 3 Anhang 1) gekennzeichnet werden. Die Kennzeichnung muss deutlich erkennbar und dauerhaft sein.

(2) In Arbeitsbereichen mit öffentlich zugänglichen Arbeitsplätzen ist eine Kennzeichnung nach Absatz 1 nicht erforderlich, wenn gemäß der Gefährdungsbeurteilung für an diesen Arbeitsplätzen tätige Implantatträger ein sicheres Arbeiten gewährleistet ist und die betroffenen Beschäftigten über die Gefährdungen aufgrund der EMF unterwiesen sind. Ein sicheres Arbeiten liegt beispielsweise vor, wenn der Hersteller des Implantats den sicheren Betrieb bis zur oberen ALS garantiert.

Hinweis: Die vom ImplantatHersteller bescheinigte Eigenschaft „MRT-tauglich“ schließt nicht aus, dass das Implantat sowohl durch wesentlich geringere Feldstärken als auch bei anderen Frequenzen gestört wird.

(3) Arbeits- und Aufenthaltsbereiche und deren Zugangswege, in denen die Werte nach Teil 2 Anhang 1 Tabellen A1.25 bis A1.28 überschritten werden, sind in geeigneter Weise mit dem Verbotssymbol P014 und Zusatzzeichen (siehe Teil 3 Anhang 1) zu kennzeichnen. Die Kennzeichnung muss deutlich erkennbar und dauerhaft sein.

(4) Ist das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung, dass Bereiche mit einer allgemeinen Gefährdung für Implantatträger vorliegen, so sind Maßnahmen zu ergreifen, um eine Störbeeinflussung zu verhindern. Zu den Maßnahmen zählen insbesondere:

1. Maßnahmen an der Feldquelle zur Verringerung der Exposition (z. B. Abschirmung, Veränderung der Leitungsführung),
2. Vergrößerung des Abstandes zur Feldquelle (z. B. durch Abgrenzungen oder Veränderung von Verkehrs- oder Besucherwegen),
3. ggf. Erstellung von Betriebsanweisungen,
4. Kennzeichnung der Bereiche, die von Implantatträgern nicht betreten werden dürfen,
5. regelmäßige Unterweisung von Mitarbeitern und Fremdpersonal und Hinweis auf die besondere Unterstützungspflicht nach § 16 ArbSchG,
6. Information von Besuchern.

(5) Zu individuellen Maßnahmen für einen Beschäftigten mit Implantat gehören insbesondere:

1. Vergrößerung des Abstandes zur Feldquelle (z. B. durch spezielle Schutzabstände oder durch Verlagerung von Bedienständen),
2. Veränderung der Wahrnehmungsschwelle des Implantats, z. B. durch Veränderung der Schrittmacherprogrammierung durch den Kardiologen,
3. spezielle Unterweisung des Beschäftigten bezüglich der für ihn festgelegten Maßnahmen und
4. Sensibilisierung der Beschäftigten zur Bereitstellung von Informationen bei Änderung von Eigenschaften des Implantats wie z. B. Austausch des Implantats oder Änderung der Programmierung.

6.10 Ableitung von Schutzmaßnahmen und Wirksamkeitsüberprüfung

(1) Auf Grundlage der Gefährdungsbeurteilung legt der Arbeitgeber Maßnahmen nach dem Stand der Technik fest, überprüft deren Wirksamkeit und dokumentiert diese. Dabei ist eine Substitutionsprüfung entsprechend § 3 Absatz 4 Punkt 5 EMFV durchzuführen sowie die Rangfolge der Maßnahmen zu beachten (siehe Abschnitt 4.39).

(2) Bei Möglichkeit der Überschreitung der EGW wird ein Plan für die Durchführung von technischen und organisatorischen Maßnahmen mit Prioritätenliste, Zeitplan und Wirksamkeitsprüfung aufgestellt und durchgeführt. Reichen diese Maßnahmen nicht aus, müssen organisatorische und/oder persönliche Schutzmaßnahmen angewendet werden (siehe Teil 3).

(3) Der Fachkundige, der die Gefährdungsbeurteilung durchgeführt hat, schlägt dem Arbeitgeber geeignete Schutzmaßnahmen vor. Der Arbeitgeber setzt diese selbst oder durch Anweisung um; etwaige Beteiligungsrechte von Interessenvertretungen sind zu beachten.

(4) Die Wirksamkeit der ausgewählten Maßnahmen ist in regelmäßigen Abständen zu überprüfen. Überprüfungsintervalle werden so festgelegt, dass entstehende Mängel, mit denen gerechnet werden muss, rechtzeitig festgestellt werden. Als Richtwert der Zeitabstände werden zwölf Monate angesetzt.

Hinweis: Beispiele und Regelungen für Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdungen finden sich in Teil 3.

7 Unterweisung

(1) Die Unterweisung der Beschäftigten nach § 19 EMFV ist auf Basis der Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Sie ist erforderlich, wenn Gefährdungen für Sicherheit und Gesundheit, auch solche durch indirekte Auswirkungen, möglich sind. Die Beschäftigten sind dabei auch über den Anspruch und den Zweck der arbeitsmedizinischen Vorsorge nach der Verordnung über arbeitsmedizinische Vorsorge zu unterrichten. Es ist auch darüber zu unterweisen, dass es durch mögliches Fehlverhalten des Beschäftigten, z. B. bei Entfernung oder Beschädigung von Abschirmeinrichtungen an einer Maschine oder an einem Gerät, zu Gefährdungen kommen kann.

Hinweis: In Abhängigkeit der Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung sind ergänzend zu den in § 19 EMFV aufgeführten Inhalten folgende Punkte sinnvoll:

1. die Eigenschaften der EMF (z. B. Pulsung, Einwirkungen mehrerer Frequenzen bzw. Überlagerung der Emissionen verschiedener Quellen),
2. die Art der Gefährdung und Möglichkeit des Auftretens von Nervenstimulationen oder Gewebeerwärmungen,
3. Gefährdungen durch andere indirekte Auswirkungen EMF wie die Projektwirkung ferromagnetischer Gegenstände in statischen Magnetfeldern, die Auslösung von elektrischen Zündvorrichtungen, die Gefahr von Bränden oder Explosionen durch die Entzündung von brennbaren Materialien aufgrund von Funkenbildung sowie Kontaktströme,
4. die bestimmungsgemäße Verwendung der persönlichen Schutzausrüstungen (sofern am Markt verfügbar) und ggf. anderer individueller Maßnahmen, erforderlichenfalls ergänzt durch eine Schulung in der Benutzung,
5. Verhalten in Bereichen mit relevanten Expositionen gegenüber EMF bei Normalbetrieb, insbesondere mögliches Fehlverhalten, wie das Entfernen oder Beschädigen von Abschirmeinrichtungen an einer Feldquelle,
6. Verhalten bei Service- und Wartungsarbeiten an relevanten Feldquellen (siehe auch Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.13 Absatz 5),
7. Verhalten bei Unfällen in Bereichen mit relevanten Feldexpositionen (Liste der potenziellen Notsituationen und Beschreibung der zugehörigen Rettungs- oder Räumungsmaßnahmen, vorsorgliche Einweisung für Ersthelfer und Rettungskräfte),
8. die bestimmungsgemäße Handhabung der EMF-Quelle und sichere Arbeitsverfahren zur Minimierung der Gefährdungen durch Exposition gegenüber EMF,
9. Hinweise zu Wirkungen von Medikamenten, Kosmetika und Gefahrstoffen (z. B. thermosensibilisierende Effekte),
10. Überblick über die betriebliche Arbeitsschutzorganisation.

(2) Die Unterweisung hat das Ziel, die Beschäftigten über die Gefährdungen durch direkte und indirekte Wirkungen von EMF zu informieren und sie mit den vorhandenen Sicherheits-einrichtungen und mit den erforderlichen Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdungen im Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung vertraut zu machen, damit Gesundheitsschäden durch EMF verhindert werden. Den Beschäftigten wird aufgezeigt, worin die Gefährdungen bestehen, wie die Exposition gegenüber EMF in Bezug auf die ALS oder EGW einzuschätzen ist, welche Maßnahmen ergriffen wurden und wie sie diese einzuhalten haben. Die ordnungsgemäße Handhabung der EMF-Quelle kann zur Verringerung der Exposition beitragen. In diesem Zusammenhang sind z. B. erforderliche Verhaltens- und Handlungsweisen zu erklären. Die Beschäftigten sind dazu anzuhalten, gesundheitliche und sensorische Wirkungen zu melden. Nach § 6 Absatz 6 EMFV sind dafür unverzüglich die Gründe zu ermitteln; dies führt ggf. zu einer Anpassung der Gefährdungsbeurteilung und zur Auswahl weiterer Schutzmaßnahmen.

(3) Spezifische Informationen und Hinweise zu den besonderen Gefährdungen insbesondere für besonders schutzbedürftige Beschäftigte sind Gegenstand der Unterweisung nach § 19 Absätze 1 und 2 EMFV. Die Beschäftigten werden zu Auswirkungen auf besonders schutzbedürftige Beschäftigte sensibilisiert.

(4) Alle Beschäftigten werden im Rahmen der Unterweisung darauf hingewiesen, dass die Voraussetzung zur Durchführung einer individuellen Gefährdungsbeurteilung für besonders schutzbedürftige Beschäftigte nur gegeben ist, wenn der Arbeitgeber von der besonderen Schutzbedürftigkeit Kenntnis erhält. Für weitere Informationen siehe Abschnitt 6.9.

(5) Bei der Unterweisung sind Beschäftigte insbesondere über die Erkennung, Meldung und Vermeidung gesundheitsschädlicher Wirkungen von EMF zu informieren. Das betrifft auch kurzzeitig auftretende Wirkungen oder Symptome und Missempfindungen (wie Wärmewirkungen), die infolge der Wirkungen von EMF durch Energieabsorption im Gewebe und indirekter Wirkungen auftreten können.

(6) Im Hinblick auf die Gefährdungen unterstützt die fachkundige Person den Arbeitgeber bei der Unterweisung. Sie kooperiert mit der Fachkraft für Arbeitssicherheit, dem Betriebsarzt und ggf. weiteren Beauftragten.

(7) Die Unterweisung ist vor Aufnahme der Tätigkeit bzw. vor der ersten Inbetriebnahme der EMF-Quelle sowie mindestens einmal jährlich durchzuführen. Sie ist in einer für die Beschäftigten verständlichen Form und Sprache durchzuführen. Bei maßgeblichen Änderungen der Arbeitsbedingungen und Expositionssituationen (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.25) hat der Arbeitgeber über die neue Gefährdungssituation zu unterweisen.

(8) Werden betriebsfremde Beschäftigte zum Zwecke der Dienstleistungserbringung im laufenden Betrieb in Bereichen mit Expositionen gegenüber EMF oberhalb der ALS für thermische Wirkungen möglicherweise tätig (z. B. Reinigungspersonal, Handwerker, Sicherheitspersonal), so ist eine für die Tätigkeit erforderliche Unterweisung durchzuführen. Über alle relevanten betriebsspezifischen Gegebenheiten zu EMF-Quellen wird der betriebsfremde Arbeitgeber geeignet informiert, um eine Unterweisung der betriebsfremden Beschäftigten nach § 19 EMFV zu unterstützen.

Hinweis 1: Entstehen durch betriebsfremde Beschäftigte möglicherweise relevante EMF-Expositionen bei dem beauftragenden Arbeitgeber, so ist der beauftragende Arbeitgeber zu informieren.

Hinweis 2: Je nach Expositionssituation fehlt den beteiligten Arbeitgebern möglicherweise notwendiges Wissen für eine geeignete Unterweisung. Den beteiligten Arbeitgebern wird daher empfohlen, z. B. Inhalte und Durchführung der Unterweisung gegenseitig abzustimmen.

(9) Liegt ein Fall von Arbeitnehmerüberlassung vor, trifft die Pflicht zur betriebsspezifischen Unterweisung gemäß § 12 ArbSchG den Entleiher (also den Betrieb, in dem der überlassene Beschäftigte seine Tätigkeit ausübt). Er hat den Beschäftigten, der ihm zur Arbeitsleistung überlassen wurde, über die mit der konkreten Tätigkeit verbundenen Gefährdungen zu unterweisen. Die sonstigen Arbeitsschutzpflichten des Verleihers als Arbeitgeber, insbesondere die Pflicht zur allgemeinen Unterweisung (unabhängig vom konkreten Arbeitsplatz oder Aufgabenbereich), bleiben unberührt.

(10) Halten sich nicht unterwiesene Personen nur für kurze Zeit und in Begleitung eines unterwiesenen Beschäftigten in Bereichen mit Expositionen gegenüber EMF auf (z. B. Überschreitung der Schwellenwerte für aktive Implantate im Sinne des Forschungsberichts FB 451 nach Teil 2 Anhang A1.7), z. B. im Rahmen einer Führung, so reicht eine Unterrichtung der Personen entsprechend der möglichen Gefährdung aus. Hierbei ist insbesondere auf das Verhalten in der Umgebung der EMF-Quelle einzugehen.

(11) Die Unterweisung ist eine Arbeitgeberpflicht. Um nachzuweisen, dass der Arbeitgeber dieser Verpflichtung nachgekommen ist, werden Zeitpunkt und Inhalt der Unterweisung sowie die Namen der Unterwiesenen und des Unterweisenden dokumentiert.

Hinweis: Als Erfolgskontrolle für die Unterweisung ist es geraten, darauf zu achten, dass die Beschäftigten die Inhalte der Unterweisung auch in ihrer täglichen Arbeit umsetzen. Die Duldung von Fehlverhalten wird in diesem Zusammenhang als Zustimmung ausgelegt werden. Daher ist es erforderlich, bei Fehlverhalten entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

(12) Kürzere Unterweisungsintervalle als gemäß Abschnitt 7 Absatz 6 können sich auch aus speziellen Arbeitsschutzvorschriften ergeben, z. B. § 29 JArbSchG, in dem eine mindestens halbjährliche Unterweisung gefordert wird.

8 Überprüfen und Aktualisieren der Gefährdungsbeurteilung

(1) Nach § 3 Absatz 5 EMFV sind die Gefährdungsbeurteilung und die Wirksamkeit der daraus abgeleiteten Maßnahmen regelmäßig zu überprüfen und ggf. zu aktualisieren. Der Arbeitgeber legt eine Frist für die regelmäßige Überprüfung fest.

Hinweis: Es wird empfohlen, die Gefährdungsbeurteilung vor der jährlichen Unterweisung zu überprüfen.

(2) Eine erneute Durchführung (auch als Aktualisierung bezeichnet) von Teilen oder der gesamten Gefährdungsbeurteilung wird notwendig, wenn z. B. folgende Anlässe eintreten:

1. Einsatz neuer und zusätzlicher EMF-Quellen,
2. Änderung von Tätigkeiten, Arbeitsverfahren, Anlagenparametern, Arbeitsumgebung oder Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdungen,
3. Änderungen der Arbeitsschutzverordnung zu EMF (EMFV) oder des Technischen Regelwerkes,
4. Änderungen des Standes der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstiger gesicherter arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse,
5. Erkenntnisse von Beschäftigten, Fachkräften für Arbeitssicherheit oder Sicherheitsbeauftragten, Erkenntnisse des Betriebsarztes,
6. Änderungen in der Schutzbedürftigkeit von Beschäftigten (z. B. Versorgung mit aktiven oder passiven medizinischen Implantaten),

7. die Prüfung der Wirksamkeit der Maßnahmen ergeben hat, dass die Maßnahmen nicht wirksam bzw. nicht ausreichend sind oder
8. (Beinahe-)Unfallgeschehen.

Hinweis: Das regelmäßige Überprüfen und Aktualisieren der Gefährdungsbeurteilung wird synonym auch als Wiederholen oder Fortschreiben der Gefährdungsbeurteilung bezeichnet.

- (3) Falls die erneute Ermittlung der Gefährdungen zu abweichenden Ergebnissen führt, sind die Maßnahmen anzupassen.

9 Arbeitsmedizinische Vorsorge und allgemeine arbeitsmedizinische Beratung

9.1 Arbeitsmedizinische Vorsorge

(1) Der Arbeitgeber hat auf der Grundlage der Gefährdungsbeurteilung für eine angemessene arbeitsmedizinische Vorsorge zu sorgen. An Arbeitsplätzen mit EMF muss der Arbeitgeber gemäß § 5a ArbMedVV regelmäßig arbeitsmedizinische Vorsorge nach § 11 ArbSchG ermöglichen (Wunschvorsorge). Die Arbeitsmedizinische Empfehlung (AME) Wunschvorsorge zeigt Umsetzungsmöglichkeiten auf. Ergeben sich weitere Vorsorgeanlässe, sollen diese in einem Termin mit der Wunschvorsorge gebündelt werden.

(2) Schwerpunkt der arbeitsmedizinischen Vorsorge ist die individuelle Aufklärung und Beratung des oder der Beschäftigten. Dies ist insbesondere für Träger von Implantaten wichtig. Denn für Träger von Implantaten und am Körper getragenen medizinischen Geräten kann nicht generell, das heißt von vornherein und abstrakt, eine Gefährdung durch EMF ausgeschlossen werden. Es bedarf hier einer Betrachtung des Einzelfalls unter Berücksichtigung der Verhältnisse des konkreten Arbeitsplatzes und der Eigenschaften des jeweiligen Implantates oder eines am Körper getragenen medizinischen Gerätes oder der Beschaffenheit eines durch EMF beeinflussbaren Fremdkörpers im Körper von Beschäftigten.

(3) Die Wunschvorsorge gemäß § 11 ArbSchG einschließlich gegebenenfalls erforderlicher Untersuchungen findet wie jede arbeitsmedizinische Vorsorge unter Wahrung der Verschwiegenheit des Betriebsarztes statt. Erkenntnisse aus der arbeitsmedizinischen Vorsorge fließen anonymisiert in die Gefährdungsbeurteilung ein, wenn sich Anhaltspunkte ergeben, dass die Maßnahmen des Arbeitsschutzes nicht ausreichen (vgl. AMR 6.4).

9.2 Allgemeine arbeitsmedizinische Beratung

(1) Zu den besonderen Gefährdungen bei der Anwendung von EMF ist eine allgemeine arbeitsmedizinische Beratung im Rahmen der Unterweisung durchzuführen. In der allgemeinen arbeitsmedizinischen Beratung im Rahmen der Unterweisung sind die Beschäftigten über Anspruch auf und Zweck der Wunschvorsorge zu unterrichten. Erforderlichenfalls ist der nach § 3 Absatz 2 ArbMedVV beauftragte Arzt oder der Betriebsarzt zu beteiligen. Teil „Allgemeines“ Abschnitt 3.1 Hinweis 2 ist zu berücksichtigen.

(2) Diese Beratung klärt auch über die besonderen Gefährdungen besonders schutzbedürftiger Personen auf. Sie dient insbesondere dazu, alle Beschäftigten auf besondere Gefährdungen für Träger von Implantaten und am Körper getragenen medizinischen Geräten hinzuweisen. Erlangt der Arbeitgeber die Kenntnis, dass besonders schutzbedürftige Beschäftigte berücksichtigt werden müssen, passt dieser anhand der neu vorliegenden Erkenntnisse die Gefährdungsbeurteilung an und wählt gegebenenfalls geeignete individuelle Schutzmaßnahmen aus.

Hinweis: Träger von Implantaten und am Körper getragenen medizinischen Geräten sind dem Arbeitgeber in der Regel nicht bekannt. Beschäftigte, bei denen eine Implantatversorgung vorgesehen ist, sollten den Betriebsarzt so früh wie möglich über eine solche geplante Versorgung informieren. Vor der Versorgung mit einem Implantat (wie z. B. Herzschrittmacher, Defibrillator (ICD)) sollten Beschäftigte den Betriebsarzt informieren, damit dieser in Abstimmung mit dem behandelnden Arzt zu der versorgenden Klinik Kontakt aufnehmen kann. Bei der Implantatauswahl bzw. der Programmierung des Implantats können ggf. Erkenntnisse aus der Gefährdungsbeurteilung für den Arbeitsplatz des Beschäftigten berücksichtigt werden. Zum Beispiel können Werte der ermittelten EMF-Exposition (Stärke und Ausbreitung der EMF) am Arbeitsplatz für die Festlegung der Störfestigkeit von z. B. Herzschrittmachern und ICDs herangezogen werden. Bei der Weiterleitung arbeitsschutzrelevanter Informationen an den Arbeitgeber müssen die Persönlichkeitsrechte in jedem Fall gewahrt werden.

10 Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung

(1) Die Gefährdungsbeurteilung ist unabhängig von der Anzahl der Beschäftigten zu dokumentieren. Dabei sind anzugeben:

1. Bezeichnung und Beschreibung der Tätigkeit oder des Arbeitsplatzes bzw. des Arbeitsbereiches mit den Expositionsbedingungen, für die die Gefährdungsbeurteilung durchgeführt wurde (siehe Abschnitt 6.2) sowie die Arbeitsplatz- und Expositionsbedingungen, die bei verschiedenen Betriebszuständen, insbesondere bei Einrichtvorgängen, Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten, auftreten,
2. die Ergebnisse der durchgeführten Informationsermittlungen, z. B. Herstellerinformationen, vorhandene Expositionsdaten (siehe Abschnitt 5.2),
 - a) die relevanten Herstellerangaben zu EMF-Quellen sowie weitere relevante gesundheits- und sicherheitsbezogene Informationen,
 - b) Erkenntnisse aus der arbeitsmedizinischen Vorsorge sowie hierzu allgemein zugängliche, veröffentlichte Informationen,
3. die Ergebnisse der gegebenenfalls durchgeführten Messungen und Berechnungen (Mess- und Berechnungsbericht, siehe Teil 2 Abschnitt 10),
 - a) Art, Ausmaß und Dauer der Exposition, einschließlich der räumlichen Verteilung der EMF am Arbeitsplatz und über den Körper des Beschäftigten,
 - b) die Frequenzen und erforderlichenfalls der Signalverlauf der einwirkenden EMF,
 - c) die Exposition von Beschäftigten gegenüber EMF aus mehreren Quellen,
 - d) die Exposition von Beschäftigten gegenüber EMF mit mehreren Frequenzen,
4. das Ergebnis der Bewertung und herangezogene Werte,
 - a) die in § 5 EMFV in Verbindung mit den Anhängen 2 und 3 EMFV genannten EGW für gesundheitliche und sensorische Wirkungen und die ALS,
 - b) die am Arbeitsplatz vorhandenen tatsächlichen oder möglichen Gefährdungen (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.41),
 - alle direkten und indirekten Wirkungen, die zu Gefährdungen führen,
 - alle Auswirkungen auf die Gesundheit und Sicherheit von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten, insbesondere wenn der Arbeitgeber darüber informiert ist,
5. die erforderlichen Maßnahmen zur Vermeidung oder Minimierung der Gefährdung einschließlich
 - a) des Ergebnisses der Überprüfung der Wirksamkeit dieser Maßnahmen (siehe Abschnitt 6.10) und

- b) des Ergebnisses der Prüfung auf Verfügbarkeit und Möglichkeit des Einsatzes alternativer Produkte bzw. Arbeitsmittel und Ausrüstungen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdungen der Beschäftigten durch direkte oder indirekte Wirkungen (Substitutionsprüfung),
6. Festlegungen zur Wiederholung der Gefährdungsbeurteilung (siehe Abschnitt 8).
- (2) Tätigkeiten, die aufgrund der Arbeitsbedingungen als gleichartig angesehen werden, lassen sich zusammenfassen.
- (3) Bei Exposition gegenüber EMF aus mehreren EMF-Quellen wird nachvollziehbar dokumentiert, welchen Expositionsbedingungen die Beschäftigten ausgesetzt sind:
1. Liegen keine Kombinationswirkungen von EMF aus mehreren EMF-Quellen vor, erfolgt die Dokumentation anlagenspezifisch.
 2. Liegen Kombinationswirkungen von EMF aus mehreren EMF-Quellen vor, kann die Dokumentation orts-, personen- oder tätigkeitsbezogen erfolgen.
- (4) Der Arbeitgeber hat die ermittelten Ergebnisse aus Beurteilung, Messungen und Berechnungen zur Gefährdungsbeurteilung in einer Form aufzubewahren, die eine spätere Einsichtnahme zum Zwecke der Nachvollziehbarkeit abgeleiteter Maßnahmen ermöglicht. Wenn die oberen ALS für nichtthermische Wirkungen oder die ALS für thermische Wirkungen überschritten werden, beträgt die Aufbewahrungsfrist für die Ergebnisse aus Messungen und Berechnungen gemäß § 3 Absatz 6 EMFV mindestens 20 Jahre.

11 Literaturhinweise

11.1 Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln

ArbSchG	Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG)
JArbSchG	Gesetz zum Schutze der arbeitenden Jugend (Jugendarbeitsschutzgesetz – JArbSchG)
ProdSG	Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz – ProdSG)
SprengG	Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz – SprengG)
26. BImSchV	Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV)
ArbMedVV	Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV)
BetrSichV	Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV)
EMFV	Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder (Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – EMFV)

GefStoffV	Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV)
AMR 3.2	Arbeitsmedizinische Regel AMR 3.2 „Arbeitsmedizinische Prävention“
TREMF MR	Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – Magnetresonanzverfahren
TREMF NF	Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – Statische und zeitveränderliche elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich bis 10 MHz
TRGS der Reihen 700 und 800	Technische Regeln für Gefahrstoffe (Brand- und Explosionsschutz)

11.2 DGUV-Publikationen

DGUV-I 203-043	DGUV Information 203-043 „Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder“ von Juni 2009, aktualisierte Fassung März 2012
----------------	---

11.3 Forschungsberichte und Normen

DIN EN 50496:2019-10	Ermittlung der Exposition von Arbeitnehmern gegenüber elektromagnetischen Feldern und Bewertung des Risikos am Standort eines Rundfunksenders; Deutsche Fassung EN 50496:2018
FB 451	Forschungsbericht „Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz – Sicherheit von Beschäftigten mit aktiven und passiven Körperhilfsmitteln bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern“, Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Februar 2015

11.4 Sonstiges

EmpfBS 1114	Empfehlungen zur Betriebssicherheit „Anpassung an den Stand der Technik bei der Verwendung von Arbeitsmitteln“ des Ausschusses für Betriebssicherheit
-------------	---

Anhang 1: Bewertung verschiedener Expositionssituationen für Beschäftigte

Die folgende Tabelle enthält eine allgemeine Bewertung der Expositionssituation von Beschäftigten gegenüber EMF. Die Bewertungsgrundlagen stellen die EGW und ALS nach Anhang 2 und 3 EMFV dar (siehe Teil 2 Abschnitt 6). EMF-Quellen, für die nach Tabelle A1.1 keine Bewertung erforderlich ist („Bewertung erforderlich“: „Nein“) halten die Vorgaben für Beschäftigte ohne aktive oder passive Implantate ein; für Beschäftigte mit aktiven oder passiven Implantaten siehe Anhang 2. Für EMF-Quellen, die mit „Ja“ bewertet sind, ist eine fachkundig durchgeführte Gefährdungsbeurteilung erforderlich, die über eine vereinfachte Gefährdungsbeurteilung hinausgeht.

Die Tabelle ist nicht abschließend. Sie zielt darauf ab, für diverse, grundsätzlich zu betrachtende Arbeitsbereiche die Möglichkeit zur Durchführung einer vereinfachten Gefährdungsbeurteilung aufzuzeigen. Die Ergebnisse der Bewertung geben einen Hinweis auf eine mögliche Gefährdung bei bestimmungsgemäßem Gebrauch der aufgeführten Arbeitsmittel.

Hinweis 1: Spezielle Betriebszustände wie z. B. Fehlerfall, unsachgemäßer Gebrauch, Einschaltvorgänge und Überlastsituation wurden in Tabelle A1.1 nicht berücksichtigt. Für diese Betriebszustände bedarf es ggf. einer besonderen Betrachtung.

Hinweis 2: Für Beschäftigte ohne aktive oder passive Implantate ist eine Bewertung in Bezug auf geltende ALS oder EGW (nach Anhängen 2 und 3 EMFV) erforderlich.

Hinweis 3: Für Beschäftigte mit passiven oder aktiven Implantaten ist zu beachten, dass die örtlich begrenzte Exposition die Schwellenwerte nach Tabellen 6.3 und 6.4 FB 451 (für aktive kardiale Implantate) bzw. nach Teil 2 Anhang 1 Tabellen A1.25 bis A1.28 überschreiten kann. Für die Durchführung individueller Schutzmaßnahmen (nach § 6 Absatz 7 EMFV) ist die Notwendigkeit einer individuellen Gefährdungsbeurteilung in Verbindung mit Anhang 2 Tabelle A2.1 zu prüfen.

Tab. A1.1 Bewertung verschiedener Expositionssituationen für Beschäftigte, ausgenommen besonders schutzbedürftige Beschäftigte

Art der EMF-Quelle	Bewertung erforderlich
Öffentlich zugängliche Bereiche	
Geräte am öffentlich zugänglichen Arbeitsplatz, die die Expositionsgrenzwerte nach EU-Ratsempfehlung zu EMF 1999/519/EG einhalten	Nein
Öffentlich zugängliche Arbeitsplätze, die die Referenzwerte nach EU-Ratsempfehlung zu EMF 1999/519/EG einhalten	Nein
Bürogebäude/Büroausstattung	
Mobiltelefone, Smartphone	Nein
Büroausstattung (z. B. Kopiergeräte, Scanner, Aktenvernichter, elektrisch betriebene Heftapparate) mit drahtgebundenen Kommunikationsmodulen	Nein
Büroausstattung (z. B. Kopiergeräte, Scanner, Multifunktionsgeräte etc.) mit drahtloser Kommunikation, z. B. WLAN oder Bluetooth	Nein
Computer und IT-Ausrüstung ausschließlich drahtgebunden (z. B. PC, Maus, Tastatur, Netzwerkanschluss)	Nein
Computer und IT-Ausrüstung mit drahtlosen Kommunikationsmodulen (z. B. PC, Laptop, Tablet, kabellose Eingabegeräte)	Nein
Drahtgebundene Kommunikationsgeräte und Netzwerke (Telefon, Faxgerät)	Nein

Art der EMF-Quelle		Bewertung erforderlich
Heizlüfter, elektrisch		Nein
Löschgeräte für Bänder oder Festplatten		Nein
Multimedia-Geräte mit drahtlosen Kommunikationsmodulen (z. B. Smart Entertainment Geräte)		Nein
Multimedia-Geräte ohne Hochfrequenzsender (z. B. Flachbildmonitore, Fernsehgeräte, DVD-, Blu-Ray-Player)		Nein
Ventilatoren, elektrisch, bis 3,5 kW		Nein
Facility-Management		
Beleuchtung, z. B. Flächenbeleuchtung und Schreibtischlampen		Nein
Basisstationsantennen	innerhalb der gekennzeichneten Sperrzone des Betreibers	Ja
	außerhalb der gekennzeichneten Sperrzone des Betreibers	Nein
Gartengeräte mit Stromnetzbetrieb (z. B. Heckenschere, Rasenmäher, Häcksler, Hochdruckreiniger, Kettensäge, Laub- oder Schneegebläse)		Nein
Gartengeräte mit Akkubetrieb (z. B. Heckenschere, Rasenmäher, Häcksler, Hochdruckreiniger, Kettensäge, Laub- oder Schneegebläse)		Nein
Heizgeräte (elektrisch) bis 3,5 kW zum Beheizen von Räumen – außer Mikrowellenheizgeräte		Nein
Haushaltsgeräte und Großküchengeräte ohne drahtlose Kommunikation, z. B. Kühlschrank, Waschmaschine, Trockner, Geschirrspülmaschine, Backofen, Toaster, Mikrowelle, Bügeleisen		Nein
Gewerbe		
Baumaschinen (z. B. Betonmischer, Vibrationsverdichter, Krane usw.)		Nein
Haushaltsähnliche Anwendungen und Systeme im Gewerbe mit Drehstromanschluss kleiner 32 A		Nein
Haushaltsähnliche Anwendungen und Systeme im Gewerbe mit einphasigem Anschluss (z. B. Herd, Kühlschrank, Waschmaschine, Trockner, Geschirrspülmaschine, Backofen)		Nein
Heißluftpistolen (tragbar)		Nein
Hydraulikrampen		Nein
Induktionskochgeräte (für Großküchen und Haushalt, einzelne und mehrere Platten)	falls Funktionsfähigkeit der Abschaltautomatik nicht gewährleistet	Ja
	falls Funktionsfähigkeit der Abschaltautomatik gewährleistet	Nein
Klebepistolen (tragbar)		Nein
Kraftfahrzeuge und technische Einrichtungen (Arbeiten an Anlasser, Lichtmaschine, Zündung)		Nein
Sicherheit		
Alarmsysteme		Nein
Metalldetektoren		Nein
Warensicherungssysteme und RFID (Funkwellenidentifikation), insbesondere Systeme zur Deaktivierung (Deaktivatoren)		Ja

Art der EMF-Quelle	Bewertung erforderlich	
Drahtlose Kommunikation		
Drahtlose Kurzstreckenkommunikationsgeräte (z. B. kabellose Telefone mit DECT-Standard, WLAN oder Bluetooth) einschließlich Zugangspunkte für WLAN	Nein	
Sendeanlagen (z. B. Mobilfunk, Rundfunk und Fernsehen: z. B. DAB, DVB-T, LF, MF, HF, VHF, UHF)	innerhalb des geforderten Sicherheitsabstandes gemäß Standortbescheinigung	Ja
	außerhalb des geforderten Sicherheitsabstandes gemäß Standortbescheinigung	Nein
TETRA Handfunkgeräte, Taxifunk	Nein	
Industrie		
Beschichtungs- und Lackieranlagen, auch elektrostatische Lackiergeräte (ausgenommen Galvanikanlagen)	Nein	
Dielektrische Erwärmung	Ja	
Dielektrisches Schweißen	Ja	
Elektrolyse, industriell (Galvanikanlagen)	Ja	
Erodiermaschine	Nein	
Geräte zur Induktionsversiegelung	Nein	
Geräte zur Oberflächenbehandlung mit Corona-Technik	Nein	
HF-Kunststoffschweißen	Ja	
HF-Kunststoffstanze	Ja	
HF-Plasmageräte	Ja	
Induktionsheizungen, automatisiert, Feststellung und Behebung von Fehlern in unmittelbarer Nähe der EMF-Quelle	Ja	
Induktionslötten	Ja	
Induktives Erwärmen (von Werkstoffen, Werkstücken oder Ähnlichem)	Ja	
Industrielle Magnetisier- und Entmagnetisiergeräte (<i>Löschgeräte für Bänder und Festplatten siehe Kategorie Bürogebäude/Büroausstattung</i>)	Ja	
Industrielle, induktive Erwärmungsanlagen wie Glüh-/Härte-/Vergüteeinrichtungen	Ja	
Kondensatorschweißen	Ja	
Kunststoffschweißen (50 Hz, Thermoverfahren mit Heizdraht)	Nein	
Ladegeräte mit nichtinduktiver Kopplung - Großgeräte für den industriellen Gebrauch (z. B. Ladegeräte für KFZ-Akkus)(<i>Kleingeräte für den Haushaltsgebrauch siehe Kategorie „Verschiedenes“</i>)	Nein	
Ladegeräte mit induktiver oder Nahfeldkopplung – Großgeräte für den industriellen Gebrauch (<i>Kleingeräte für den Haushaltsgebrauch siehe Kategorie „Verschiedenes“</i>)	Ja	
Lichtbogenschweißung, manuell (einschließlich MIG (Metall-Inertgas), MAG (Metall-Aktivgas), WIG (Wolfram-Inertgas), UP (Unterpulver) und Plasmaschweißen) bei Einhaltung bewährter Verfahren und ohne Körperkontakt zur Leitung	Nein	
Magnetpulverprüfung (Rissprüfung)	Ja	
Magnetische Spann- und Halteeinrichtungen	Nein	
Magnete zur Positions- und Lageerkennung, (z. B. bei Magnetschaltern und Pneumatikzylindern)	Nein	

Art der EMF-Quelle	Bewertung erforderlich
Messgeräte und -instrumente ohne Funksender	Nein
Mikrowellenerwärmung und -trocknung in der Holzverarbeitenden Industrie (Trocknen, Formen und Leimen von Holz) oder in der Bauindustrie	Ja
Stationäre Werkzeugmaschinen (z. B. Bohrmaschinen, Schleifmaschinen, Drehmaschinen, Fräsmaschinen, Sägen) – ohne magnetische Haltevorrichtungen	Nein
Widerstandsschweißanlagen, automatisiert, Feststellung und Behebung von Fehlern sowie Unterweisung in unmittelbarer Nähe der EMF-Quelle	Nein
Schweißen, Widerstandsschweißen von Hand/automatisiert (Punktschweißen, Nahtschweißen, Buckelschwellen)	Ja
Steuergeräte	Nein
Werkzeuge (elektrische tragbare Handgeräte mit Akkubetrieb, z. B. Bohrer, Schleifgeräte, Kreissägen und Winkelschleifer)	Nein
Öfen, Lichtbogenschmelzen	Ja
Öfen, Induktionsschmelzen (kleinere Öfen haben normalerweise stärkere zugängliche Felder als größere Öfen)	Ja
Elektrische Energieversorgung	
Arbeitsplätze auf Masten von Hochspannungsfreileitungen mit einer Nennspannung von mehr als 100 kV – Exposition gegenüber elektrischen Feldern (<i>Exposition gegenüber Magnetfeldern ist gesondert zu prüfen.</i>) Hinweis: Bei Überspannung eines beliebigen Arbeitsplatzes durch eine Freileitung unterliegt diese der 26. BImSchV.	Ja
Arbeitsplätze in Energieerzeugung und -übertragung (Kraftwerke, Umspannwerke mit Mittel-, Hoch- und Höchstspannung)	Ja
Batterieraum	Nein
Drossel (Luft-, Kompensations-, Kurzschlussstrombegrenzungsdrossel)	Nein
Elektrische Anlagen bzw. Stromkreise mit nah beieinanderliegenden Leitern und einem Phasen-Nennstrom bzw. Nettostrom von weniger als 100 A – einschließlich Verkabelung, Schalttechnik, Transformatoren usw. – Exposition gegenüber Magnetfeldern (<i>Exposition gegenüber elektrischen Feldern ist gesondert zu prüfen.</i>)	Nein
Erdkabel- oder isolierte Leitung, spannungsunabhängig – Exposition gegenüber elektrischen Feldern (<i>Exposition gegenüber Magnetfeldern ist gesondert zu prüfen.</i>)	Nein
Generatoren und Notstromaggregate	Nein
Induktive Ladestation für Elektrofahrzeuge	Ja
Kondensatorbatterie (bspw. Zurverfügungstellung von Motor-Anlaufströmen)	Nein
Ladestation für Elektrofahrzeuge (einschließlich Zuleitung zum Fahrzeug)	Nein
Mittel- und Hochspannungsfreileitungen mit einer Nennspannung bis einschließlich 110 kV – Exposition gegenüber elektrischen Feldern (<i>Exposition gegenüber Magnetfeldern ist gesondert zu prüfen.</i>)	Nein
Nicht isolierte Freileitungen, spannungsunabhängig – Exposition gegenüber Magnetfeldern an einem beliebigen Arbeitsplatz unterhalb der Leitung (<i>Exposition gegenüber elektrischen Feldern ist gesondert zu prüfen.</i>)	Nein

Art der EMF-Quelle		Bewertung erforderlich
Stromführender Einzelleiter – Exposition gegenüber Magnetfeldern (<i>Exposition gegenüber elektrischen Feldern ist gesondert zu prüfen.</i>)	Nettostrom von über 100 A	Ja
	Nettostrom bis maximal 100 A	Nein
Wechselrichter, einschließlich solcher in Fotovoltaikanlagen		Nein
Windturbinen, Arbeit an solchen		Nein
Medizin (Bedienpersonal)		
Geräte für medizinische Anwendungen, die Hochleistungs-HF-Quellen (> 100 mW) (zeitlich gemittelt) verwenden (z. B. Diathermie)		Ja
Medizinische Diagnose- und Behandlungsgeräte ohne Nutzung von EMF oder Strömen (z. B. Ultraschall)		Nein
Medizinische Diagnose- und Behandlungsgeräte mit EMF-Nutzung (z. B. Kurzwellendiathermie, transkranielle Magnetstimulation)		Ja
Medizinische Geräte, die absichtlich EMF abstrahlen oder Ströme verwenden		Ja
Verschiedenes		
Geräte, die statische Magnetfelder von mehr als 0,5 mT erzeugen, entweder elektrisch oder mittels Dauermagneten (z. B. Magnetabscheider, Magnetspannplatten, -tische und -förderbänder, Hubmagnete, Magnethalter, Magnetnamensschilder und -ausweise, Pinnwandmagnete)		Nein
Kopfhörer oder Lautsprecher/Subwoofer, die starke Magnetfelder (größer als 0,5 mT) erzeugen		Nein
Ladegeräte mit induktiver oder Nahfeldkopplung – Kleingeräte für den Haushaltsgebrauch (<i>Großgeräte für den industriellen Gebrauch siehe Kategorie „Industrie“</i>)		Nein
Ladegeräte mit nichtinduktiver Kopplung für den Haushaltsgebrauch (<i>Großgeräte für den industriellen Gebrauch siehe Kategorie „Industrie“</i>)		Nein
Nichtelektrische Geräte aller Art	mit Dauermagneten	Nein
	ohne Dauermagneten	Nein
Radar zur Luftverkehrsüberwachung, militärische Anwendungen, Wetterradar und Radar über große Entfernungen mit typischerweise mehr als 100 mW Effektivwert (> 20 W Spitzenwert)		Ja
Sender, batteriebetrieben		Nein
Wechsel-, Drehstrom-, Linearmotoren		Nein
Stecker-Netzteile, mit Trafo oder als Schaltnetzteil		Nein
Züge und Straßenbahnen, elektrisch angetrieben – Wartung selbiger		Ja

Anhang 2: Bewertung verschiedener Expositionssituationen für besonders schutzbedürftige Beschäftigte

Die folgende Tabelle enthält eine allgemeine Bewertung der Expositionssituation von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten mit aktiven und passiven Implantaten gegenüber EMF und bietet dem Arbeitgeber eine Orientierung. Für EMF-Quellen, für die nach Tabelle A2.1 keine Bewertung erforderlich ist („Individuelle Bewertung erforderlich für ...“: „Nein“), ist von keiner Beeinflussung aktiver oder passiver Implantate auszugehen. Für EMF-Quellen, die mit „Ja“ bewertet sind, ist eine individuelle Überprüfung erforderlich.

Die Tabelle ist nicht abschließend. Sie zielt darauf ab, für diverse, grundsätzlich zu betrachtende Arbeitsbereiche die Möglichkeit zur Durchführung einer vereinfachten Gefährdungsbeurteilung aufzuzeigen. Die Ergebnisse der Bewertung geben einen Hinweis auf eine mögliche Gefährdung bei bestimmungsgemäßem Gebrauch der aufgeführten Arbeitsmittel.

In der Tabelle wird die Exposition beim direkten Gebrauch des Arbeitsmittels („Gebrauch selbiger“, wie z. B. bei Arbeiten mit diesen Arbeitsmitteln oder zur Instandhaltung) als auch die Exposition in der Nähe des Arbeitsmittels („Arbeitsplätze mit solchen“, inklusive Aufenthalt oder Passieren) unterschieden.

Hinweis: Spezielle Betriebszustände wie z. B. Fehlerfall, unsachgemäßer Gebrauch, Einschaltvorgänge und Überlastsituation wurden in Tabelle A2.1 nicht berücksichtigt. Für diese Betriebszustände bedarf es ggf. einer besonderen Betrachtung.

Tab. A2.1 Bewertung verschiedener Expositionssituationen für besonders schutzbedürftige Beschäftigte

Art der EMF-Quelle	Individuelle Bewertung erforderlich für Träger aktiver Implantate	Individuelle Bewertung erforderlich für Träger passiver Implantate
Öffentlich zugängliche Bereiche		
Geräte am öffentlich zugänglichen Arbeitsplatz, die die Expositionsgrenzwerte nach EU-Ratsempfehlung zu EMF 1999/519/EG einhalten	Nein	Nein
Öffentlich zugängliche Arbeitsplätze, die die Referenzwerte nach EU-Ratsempfehlung zu EMF 1999/519/EG einhalten	Nein	Nein
Bürogebäude/Büroausstattung		
Mobiltelefone, Smartphone (Gebrauch selbiger, Abstände < 15 cm)	Ja	Nein
Mobiltelefone, Smartphone (Arbeitsplätze mit solchen, Abstände > 15 cm)	Nein	Nein
Büroausstattung (z. B. Kopiergeräte, Scanner, Aktenvernichter, elektrisch betriebene Heftapparate) mit drahtgebundenen Kommunikationsmodulen	Nein	Nein
Büroausstattung (z. B. Kopiergeräte, Scanner, Multifunktionsgeräte etc.) mit drahtloser Kommunikation, z. B. WLAN oder Bluetooth (in unmittelbarer Nähe, Abstände < 15 cm)	Ja	Nein
Büroausstattung (z. B. Kopiergeräte, Scanner, Multifunktionsgeräte etc.) mit drahtloser Kommunikation, z. B. WLAN oder Bluetooth (in größerer Entfernung, Abstände > 15 cm)	Nein	Nein
Computer und IT-Ausrüstung ausschließlich drahtgebunden (z. B. PC, Maus, Tastatur, Netzwerkanschluss)	Nein	Nein

Art der EMF-Quelle	Individuelle Bewertung erforderlich für Träger aktiver Implantate	Individuelle Bewertung erforderlich für Träger passiver Implantate	
Computer und IT-Ausrüstung mit drahtlosen Kommunikationsmodulen (z. B. PC, Laptop, Tablet, kabellose Eingabegeräte, Gebrauch selbiger, Abstände < 15 cm)	Ja	Nein	
Computer und IT-Ausrüstung mit drahtlosen Kommunikationsmodulen (z. B. PC, Laptop, Tablet, kabellose Eingabegeräte, Arbeitsplätze mit solchen, Abstände > 15 cm)	Nein	Nein	
Drahtgebundene Kommunikationsgeräte und Netzwerke (Telefon, Faxgerät)	Nein	Nein	
Heizlüfter, elektrisch (Abstände < 15 cm)	Ja	Nein	
Heizlüfter, elektrisch (Abstände > 15 cm)	Nein	Nein	
Löschgeräte für Bänder oder Festplatten	Ja	Nein	
Multimedia-Geräte mit drahtlosen Kommunikationsmodulen (z. B. Smart Entertainment Geräte)	Ja	Nein	
Multimedia-Geräte ohne Hochfrequenzsender (z. B. Flachbildmonitore, Fernsehgeräte, DVD-, Blu-Ray-Player)	Nein	Nein	
Ventilatoren, elektrisch, bis 3,5 kW	Nein	Nein	
Facility-Management			
Beleuchtung, z. B. Flächenbeleuchtung und Schreibtischlampen, mit Magnetfußhalter	Ja	Nein	
Beleuchtung, z. B. Flächenbeleuchtung und Schreibtischlampen, ohne Magnetfußhalter	Nein	Nein	
Basisstationsantennen	innerhalb der gekennzeichneten Sperrzone des Betreibers	Ja	Ja
	außerhalb der gekennzeichneten Sperrzone des Betreibers	Nein	Nein
Gartengeräte mit Stromnetzbetrieb (z. B. Heckenschere, Rasenmäher, Häcksler, Hochdruckreiniger, Kettensäge, Laub- oder Schneegebläse, Gebrauch selbiger, Abstände < 30 cm)	Ja	Nein	
Gartengeräte mit Stromnetzbetrieb (z. B. Heckenschere, Rasenmäher, Häcksler, Hochdruckreiniger, Kettensäge, Laub- oder Schneegebläse, Arbeitsplätze mit solchen, Abstände > 30 cm)	Nein	Nein	
Gartengeräte mit Akkubetrieb (z. B. Heckenschere, Rasenmäher, Häcksler, Hochdruckreiniger, Kettensäge, Laub- oder Schneegebläse, Gebrauch selbiger, Abstände < 15 cm)	Ja	Nein	
Gartengeräte mit Akkubetrieb (z. B. Heckenschere, Rasenmäher, Häcksler, Hochdruckreiniger, Kettensäge, Laub- oder Schneegebläse, Arbeitsplätze mit solchen, Abstände > 15 cm)	Nein	Nein	
Heizgeräte (elektrisch) bis 3,5 kW zum Beheizen von Räumen - außer Mikrowellenheizgeräte	Nein	Nein	
Haushaltsgeräte und Großküchengeräte ohne drahtlose Kommunikation, z. B. Kühlschrank, Waschmaschine, Trockner, Geschirrspülmaschine, Backofen, Toaster, Mikrowelle, Bügeleisen	Nein	Nein	

Art der EMF-Quelle		Individuelle Bewertung erforderlich für Träger aktiver Implantate	Individuelle Bewertung erforderlich für Träger passiver Implantate
Gewerbe			
Baumaschinen (z. B. Betonmischer, Vibrationsverdichter, Krane usw., Arbeiten in unmittelbarer Nähe, Abstände < 30 cm)		Ja	Nein
Baumaschinen (z. B. Betonmischer, Vibrationsverdichter, Krane usw., Arbeiten in größerem Abstand > 30 cm)		Nein	Nein
Haushaltsähnliche Anwendungen und Systeme im Gewerbe mit Drehstromanschluss kleiner 32 A		Ja	Nein
Haushaltsähnliche Anwendungen und Systeme im Gewerbe mit einphasigem Anschluss (z. B. Herd, Kühlschrank, Waschmaschine, Trockner, Geschirrspülmaschine, Backofen)		Ja	Nein
Heißluftpistolen (tragbar, Gebrauch selbiger oder Arbeitsplätze mit solchen)		Nein	Nein
Hydraulikkrampen		Nein	Nein
Induktionskochgeräte (für Großküchen und Haushalt, einzelne und mehrere Platten)	falls Funktionsfähigkeit der Abschaltautomatik nicht gewährleistet	Ja	Ja
	falls Funktionsfähigkeit der Abschaltautomatik gewährleistet	Ja	Nein
Klebspistolen (tragbar, Gebrauch selbiger oder Arbeitsplätze mit solchen)		Nein	Nein
Kraftfahrzeuge und technische Einrichtungen (Arbeiten in unmittelbarer Nähe (< 30 cm) von Anlasser, Lichtmaschine, Zündung)		Ja	Nein
Kraftfahrzeuge und technische Einrichtungen (Arbeiten in größerem Abstand (> 30 cm) von Anlasser, Lichtmaschine, Zündung)		Nein	Nein
Sicherheit			
Alarmsysteme		Nein	Nein
Metalldetektoren		Ja	Nein
Warensicherungssysteme und RFID (Funkwellenidentifikation), insbesondere Systeme zur Deaktivierung (Deaktivatoren)		Ja	Ja
Drahtlose Kommunikation			
Drahtlose Kurzstreckenkommunikationsgeräte (z. B. kabellose Telefone mit DECT-Standard, WLAN oder Bluetooth) einschließlich Zugangspunkte für WLAN, Gebrauch selbiger (Abstände < 15 cm)		Ja	Nein
Drahtlose Kurzstreckenkommunikationsgeräte (z. B. kabellose Telefone mit DECT-Standard, WLAN oder Bluetooth) einschließlich Zugangspunkte für WLAN, Arbeitsplätze mit solchen (Abstände > 15 cm)		Nein	Nein

Art der EMF-Quelle		Individuelle Bewertung erforderlich für Träger aktiver Implantate	Individuelle Bewertung erforderlich für Träger passiver Implantate
Sendeanlagen (z. B. Mobilfunk, Rundfunk und Fernsehen: z. B. DAB, DVB-T, LF, MF, HF, VHF, UHF)	innerhalb des geforderten Sicherheitsabstandes gemäß Standortbescheinigung	Ja	Ja
	außerhalb des geforderten Sicherheitsabstandes gemäß Standortbescheinigung	Nein	Nein
TETRA Handfunkgeräte, Taxifunk, Gebrauch selbiger (Abstände < 15 cm)		Ja	Nein
TETRA Handfunkgeräte, Taxifunk, Arbeitsplätze mit solchen (Abstände > 15 cm)		Nein	Nein
Industrie			
Beschichtungs- und Lackieranlagen, auch elektrostatische Lackiergeräte (ausgenommen Galvanikanlagen)		Nein	Nein
Dielektrische Erwärmung		Ja	Ja
Dielektrisches Schweißen		Ja	Ja
Elektrolyse, industriell (Galvanikanlagen)		Ja	Ja
Erodiermaschine		Ja	Nein
Geräte zur Induktionsversiegelung		Ja	Nein
Geräte zur Oberflächenbehandlung mit Corona-Technik		Ja	Nein
HF-Kunststoffschweißen		Ja	Ja
HF-Kunststoffstanze		Ja	Ja
HF-Plasmageräte		Ja	Ja
Induktionsheizungen, automatisiert, Feststellung und Behebung von Fehlern in unmittelbarer Nähe der EMF-Quelle		Ja	Ja
Induktionslöten		Ja	Ja
Induktives Erwärmen (von Werkstoffen, Werkstücken oder Ähnlichem)		Ja	Ja
Industrielle Magnetisier- und Entmagnetisiergeräte (<i>Löschgeräte für Bänder und Festplatten siehe Kategorie Bürogebäude/Büroausstattung</i>)		Ja	Ja
Industrielle, induktive Erwärmanlagen wie Glüh-/Härte-/Vergüteanlagen		Ja	Ja
Kondensatorschweißen		Ja	Ja
Kunststoffschweißen (50 Hz, Thermoverfahren mit Heizdraht)		Nein	Nein
Ladegeräte mit nichtinduktiver Kopplung – Großgeräte für den industriellen Gebrauch (z. B. Ladegeräte für KFZ-Akkus) (<i>Kleingeräte für den Haushaltsgebrauch siehe Kategorie „Verschiedenes“</i>)		Ja	Nein
Ladegeräte mit induktiver oder Nahfeldkopplung – Großgeräte für den industriellen Gebrauch (<i>Kleingeräte für den Haushaltsgebrauch siehe Kategorie „Verschiedenes“</i>)		Ja	Ja

Art der EMF-Quelle	Individuelle Bewertung erforderlich für Träger aktiver Implantate	Individuelle Bewertung erforderlich für Träger passiver Implantate
Lichtbogenschweißung, manuell (einschließlich MIG (Metall-Inertgas), MAG (Metall-Aktivgas), WIG (Wolfram-Inertgas), UP (Unterpulver) und Plasmaschweißen) bei Einhaltung bewährter Verfahren und ohne Körperkontakt zur Leitung	Ja	Nein
Magnetpulverprüfung (Rissprüfung)	Ja	Ja
Magnetische Spann- und Halteeinrichtungen	Ja	Nein
Magnete zur Positions- und Lageerkennung, (z. B. bei Magnetschaltern und Pneumatikzylindern)	Ja	Nein
Messgeräte und -instrumente ohne Funksender	Nein	Nein
Mikrowellenerwärmung und -trocknung in der Holzverarbeitenden Industrie (Trocknen, Formen und Leimen von Holz) oder in der Bauindustrie	Ja	Ja
Stationäre Werkzeugmaschinen (z. B. Bohrmaschinen, Schleifmaschinen, Drehmaschinen, Fräsmaschinen, Sägen) – ohne magnetische Haltevorrichtungen	Ja	Nein
Schweißanlagen, automatisiert, Feststellung und Behebung von Fehlern sowie Unterweisung in unmittelbarer Nähe der EMF-Quelle	Ja	Ja
Schweißen, Widerstandsschweißen von Hand (Punktschweißen, Nahtschweißen)	Ja	Ja
Steuergeräte, mit Funksender	Ja	Nein
Steuergeräte, ohne Funksender	Nein	Nein
Werkzeuge (elektrische tragbare Handgeräte mit Akkubetrieb, z. B. Bohrer, Schleifgeräte, Kreissägen und Winkelschleifer), Arbeitsplätze mit solchen (Abstände > 15 cm)	Nein	Nein
Werkzeuge (elektrische tragbare Handgeräte mit Akkubetrieb, z. B. Bohrer, Schleifgeräte, Kreissägen und Winkelschleifer), Gebrauch selbiger (Abstände < 15 cm)	Ja	Nein
Öfen, Lichtbogenschmelzen	Ja	Ja
Öfen, Induktionsschmelzen (kleinere Öfen haben normalerweise stärkere zugängliche Felder als größere Öfen)	Ja	Ja
Elektrische Energieversorgung		
Arbeitsplätze auf Masten von Hochspannungsfreileitungen mit einer Nennspannung von mehr als 100 kV – Exposition gegenüber elektrischen Feldern (<i>Exposition gegenüber Magnetfeldern ist gesondert zu prüfen.</i>) Hinweis: Bei Überspannung eines beliebigen Arbeitsplatzes durch eine Freileitung unterliegt diese der 26. BImSchV.	Ja	Ja
Arbeitsplätze in Energieerzeugung und -übertragung (Kraftwerke, Umspannwerke mit Mittel-, Hoch- und Höchstspannung)	Ja	Ja
Batterieraum	Nein	Nein
Drossel (Luft-, Kompensations-, Kurzschlussstrombegrenzungsdrossel)	Ja	Ja

Art der EMF-Quelle	Individuelle Bewertung erforderlich für Träger aktiver Implantate	Individuelle Bewertung erforderlich für Träger passiver Implantate	
Elektrische Anlagen bzw. Stromkreise mit nah beieinanderliegenden Leitern und einem Phasen-Nennstrom bzw. Nettostrom von weniger als 100 A – einschließlich Verkabelung, Schalttechnik, Transformatoren usw. – Exposition gegenüber Magnetfeldern (<i>Exposition gegenüber elektrischen Feldern ist gesondert zu prüfen</i>)	Nein	Nein	
Erdkabel- oder isolierte Leitung, spannungsunabhängig – Exposition gegenüber elektrischen Feldern (<i>Exposition gegenüber Magnetfeldern ist gesondert zu prüfen</i>)	Nein	Nein	
Generatoren und Notstromaggregate, Arbeit an solchen (insbesondere Arbeiten an Zu- und Ableitungen)	Ja	Nein	
Generatoren und Notstromaggregate, Arbeitsplätze mit solchen (Abstände > 30 cm)	Nein	Nein	
Induktive Ladestation für Elektrofahrzeuge	Ja	Ja	
Kondensatorbatterie (bspw. Zurverfügungstellung von Motor-Anlaufströmen)	Nein	Nein	
Ladestation für Elektrofahrzeuge (einschließlich Zuleitung zum Fahrzeug)	Ja	Ja	
Mittel- und Hochspannungsfreileitungen mit einer Nennspannung bis einschließlich 110 kV – Exposition gegenüber elektrischen Feldern (<i>Exposition gegenüber Magnetfeldern ist gesondert zu prüfen</i>)	Nein	Nein	
Nicht isolierte Freileitungen, spannungsunabhängig – Exposition gegenüber Magnetfeldern an einem beliebigen Arbeitsplatz unterhalb der Leitung (<i>Exposition gegenüber elektrischen Feldern ist gesondert zu prüfen</i>)	Nein	Nein	
Stromführender Einzelleiter – Exposition gegenüber Magnetfeldern (<i>Exposition gegenüber elektrischen Feldern ist gesondert zu prüfen</i>)	Nettostrom von über 100 A	Ja	Ja
	Nettostrom von über 40 A bis max. 100 A	Ja	Nein
	Nettostrom von bis zu 40 A	Nein	Nein
Wechselrichter, einschließlich solcher in Fotovoltaikanlagen	Ja	Nein	
Windturbinen, Arbeit an solchen	Ja	Ja	
Medizin (Bedienpersonal)			
Geräte für medizinische Anwendungen, die Hochleistungs-HF-Quellen (> 100 mW) (zeitlich gemittelt) verwenden (z. B. Diathermie)	Ja	Ja	
Medizinische Diagnose- und Behandlungsgeräte ohne Nutzung von EMF oder Strömen (z. B. Ultraschall)	Nein	Nein	
Medizinische Diagnose- und Behandlungsgeräte mit EMF-Nutzung (z. B. Kurzwellendiathermie, transkranielle Magnetstimulation)	Ja	Ja	
Medizinische Geräte, die absichtliche Abstrahlung mit elektromagnetischer Exposition oder Ströme verwenden	Ja	Ja	

Art der EMF-Quelle	Individuelle Bewertung erforderlich für Träger aktiver Implantate	Individuelle Bewertung erforderlich für Träger passiver Implantate	
Verschiedenes			
Geräte, die statische Magnetfelder von mehr als 0,5 mT erzeugen, entweder elektrisch oder mittels Dauermagneten (z. B. Magnetabscheider, Magnetspannplatten, -tische und -förderbänder, Hubmagnete, Magnethalter, Magnetnamensschilder und -ausweise, Pinnwandmagnete)	Ja	Nein	
Kopfhörer oder Lautsprecher/Subwoofer, die starke Magnetfelder (größer als 0,5 mT) erzeugen	Ja	Nein	
Ladegeräte mit induktiver oder Nahfeldkopplung – Kleingeräte für den Haushaltsgebrauch (<i>Großgeräte für den industriellen Gebrauch siehe Kategorie „Industrie“</i>)	Nein	Nein	
Ladegeräte mit nichtinduktiver Kopplung für den Haushaltsgebrauch (<i>Großgeräte für den industriellen Gebrauch siehe Kategorie „Industrie“</i>)	Nein	Nein	
Nichtelektrische Geräte aller Art	mit Dauermagneten	Ja	Nein
	ohne Dauermagneten	Nein	Nein
Radar zur Luftverkehrsüberwachung, militärische Anwendungen, Wetterradar und Radar über große Entfernungen mit typischerweise mehr als 100 mW Effektivwert (> 20 W Spitzenwert)	Ja	Ja	
Sender, batteriebetrieben	Ja	Nein	
Wechsel-, Drehstrom-, Linearmotoren (in unmittelbarer Nähe, Abstände < 30 cm)	Ja	Nein	
Wechsel-, Drehstrom-, Linearmotoren (in größerer Entfernung, Abstände > 30 cm)	Nein	Nein	
Stecker-Netzteile, mit Trafo oder als Schaltnetzteil (in unmittelbarer Nähe, Abstände < 15 cm)	Ja	Nein	
Stecker-Netzteile, mit Trafo oder als Schaltnetzteil (in größerer Entfernung, Abstände > 15 cm)	Nein	Nein	
Züge und Straßenbahnen, elektrisch angetrieben – Wartung selbiger	Ja	Ja	

Anhang 3: Empfehlung zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung, Beispiel Büroarbeitsplatz

Die hier aufgeführte Empfehlung zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung entfaltet keine Vermutungswirkung im Sinne von § 21 Absatz 6 Nummer 1 BetrSichV.

A3.1 Arbeitsort

In diesem Expositionsszenario wird beispielhaft ein Büroarbeitsplatz bewertet.

Die Arbeitsstätte befindet sich in einem ebenerdigen Gebäude. In der Arbeitsstätte sind Büro-, Sozial- und Sanitärräume vorhanden.

Zur Instandhaltung sowie Reinigung der Arbeitsstätte sind Fremdfirmen beauftragt. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch Personen mit Implantaten an Besichtigungen sowie Instandhaltungs- und Reinigungsarbeiten teilnehmen.

A3.2 Aufgabenbeschreibung und Arbeitsplatz

Die zu beurteilenden Tätigkeiten umfassen administrative Aufgaben an einem Büroarbeitsplatz. Die Unterweisung durch den Arbeitgeber erfolgt in der Regel einmal pro Jahr.

Reinigungs- und Instandhaltungsarbeiten werden am Büroarbeitsplatz durchgeführt, wie z. B. reguläre Reinigungsarbeiten der Böden, Tische, Schränke, Regale, Wände und Decken sowie Leuchtmittelwechsel und Schönheitsreparaturen. Diese Tätigkeiten werden durch Elektriker und angelernte Mitarbeiter ausgeführt. Werden diese Tätigkeiten hingegen von Mitarbeitern von Fremdfirmen ausgeführt, kooperieren die verschiedenen Arbeitgeber nach § 8 ArbSchG. Die weitere Gestaltung der Arbeitsplätze erfüllt die Anforderungen an den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik, wie z. B. hinsichtlich ergonomischer Gestaltung oder Vorgaben der Arbeitsstättenregeln (ASR).

A3.3 Arbeitsmittel

Während der Ausführung der Tätigkeiten am Arbeitsplatz tragen verschiedene Arbeitsmittel, aber auch weitere EMF-Quellen in dessen Umgebung zur Exposition gegenüber EMF bei. Für eine Beurteilung der Arbeitsbedingungen bei EMF-Exposition können folgende Arbeitsmittel und EMF-Quellen relevant sein:

Tab. A3.1 Auflistung von Arbeitsmitteln und EMF-Quellen an den beiden Arbeitsplätzen und in deren Umgebung

Büroarbeitsplatz
a) Computerhardware
- 1 27-Zoll-Flachbildschirm
- 1 Tastatur und 1 Maus, mit Bluetooth, max. Sendeleistung ^a 1 mW ^b bis 100 mW ^b (0,65 mW ^{b,c} bis 65 mW ^{b,c})
- 1 Multifunktionsdrucker, mit WLAN-Modul, max. Sendeleistung ^a 100 mW ^b (2,4 GHz)
- 1 Tablet, mit WLAN- und LTE-Modul: WLAN: max. Sendeleistung ^a 100 mW ^b (2,4 GHz) bis 1 W ^b (5 GHz) LTE: max. Sendeleistung ^a 200 mW
b) Kommunikation
- 1 Fax-Gerät
- 1 VoIP-Festnetztelefon mit Bildschirm
- 1 DECT-Telefon, max. Sendeleistung ^a 250 mW ^b (10 mW ^{b,c})

- 1 Smartphone: GSM: max. Sendeleistung ^a 1 W ^b (1800 MHz, 125 mW ^{b,c}) bis 2 W ^b (900 MHz, 250 mW ^{b,c}) WLAN und LTE: siehe Tablet
- 1 WLAN-Repeater, max. Sendeleistung ^a 100 mW ^b (2,4 GHz) bis 1 W ^b (5 GHz)
- 1 Indoor-Mobilfunkbasisstation (Mikrozellen-Basisstation), max. Sendeleistung 100 mW
c) Sonstige Arbeitsmittel und Büroausstattung
- LED-Schreibtischlampe
- Pinnwandmagnete, z. B. aus Neodym
- Besprechungsraum, mit Beamer und kabelloser Videoübertragung
- Schaltnetzteile als Zubehör zu den oben genannten Geräten
- Kochnische, mit Mikrowelle, Kaffeemaschine, Wasserkocher und 1 Platten-/Induktionskochfeld
- Mobilfunkstandort auf benachbartem Grundstück
- Überlandleitung, die die Arbeitsstätte überspannt

Anmerkung:

a beinhaltet automatische Leistungsreduktion, d. h., Sendeleistung nimmt ab bei steigender Empfangsqualität

b EIRP: Äquivalente isotrope Strahlungsleistung, d. h. ohne Richtwirkung

c mittlere Sendeleistung, d. h. effektive Sendeleistung (berücksichtigt „Totzeit“ während Kanalumschaltung)

A3.4 Informationsbeschaffung

Aussagen zu Art, Dauer und Ausmaß der Emission von EMF durch die in Tabelle A3.1 aufgeführten Arbeitsmittel und EMF-Quellen sind in verschiedenen Informationsquellen enthalten. Dazu zählen z. B. Herstellerunterlagen, Anhang 1 Tabelle A1.1, Anhang 2 Tabelle A2.1, Expositionsbewertungen öffentlich zugänglicher Bereiche, Dokumentation bereits durchgeführter Gefährdungsbeurteilungen. Besonders bei der Verwendung von Herstellerunterlagen und der Dokumentation bereits durchgeführter Gefährdungsunterlagen ist deren Übertragbarkeit, Verlässlichkeit, Plausibilität und Informationsgüte kritisch zu hinterfragen.

Werden durch die einzelnen EMF-Emissionen die ALS und EGW nach Anhängen 2 und 3 EMFV nicht überschritten, kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass auch die EMF-Exposition am Arbeitsplatz die zulässigen ALS und EGW nach Anhängen 2 und 3 EMFV einhält.

Tab. A3.2 Zusammenstellung von Arbeitsmitteln und EMF-Quellen mit jeweiligen Informationsquellen und den relevanten Emissions- bzw. Expositionsangaben; Abstandsangabe für Abstand zwischen Implantatposition und EMF-Quelle

EMF-Quellen (Arbeitsmittel)	Informationsquelle	Emissions- bzw. Expositionsangabe (Abstandsangabe zur Implantatposition)
1 27-Zoll-Flachbildschirm	Anhang 1 Tabelle A1.1	keine Bewertung erforderlich
	Anhang 2 Tabelle A2.1	keine Bewertung erforderlich
1 Tastatur und 1 Maus, mit Bluetooth	Anhang 1 Tabelle A1.1	keine Bewertung erforderlich
	Anhang 2 Tabelle A2.1	keine Bewertung erforderlich
1 Multifunktionsdrucker, mit WLAN-Modul	Anhang 1 Tabelle A1.1	keine Bewertung erforderlich
	Anhang 2 Tabelle A2.1	Bewertung NUR für Träger aktiver Implantate erforderlich, WENN Abstände kleiner 15 cm möglich sind, z. B. bei Tätigkeiten wie Fehlerdiagnose oder Beseitigung von Papierstau

EMF-Quellen (Arbeitsmittel)	Informationsquelle	Emissions- bzw. Expositionsangabe (Abstandsangabe zur Implantatposition)
1 Tablet, mit WLAN- und LTE-Modul	Anhang 1 Tabelle A1.1	keine Bewertung erforderlich
	Anhang 2 Tabelle A2.1	Bewertung NUR für Träger aktiver Implantate erforderlich, WENN Abstände kleiner 15 cm möglich sind
1 Fax-Gerät	Anhang 1 Tabelle A1.1	keine Bewertung erforderlich
	Anhang 2 Tabelle A2.1	keine Bewertung erforderlich
1 VoIP-Festnetztelefon mit Bildschirm	Anhang 1 Tabelle A1.1	für beide Komponenten keine Bewertung erforderlich
	Anhang 2 Tabelle A2.1	für beide Komponenten keine Bewertung erforderlich
1 DECT-Telefon	Anhang 1 Tabelle A1.1	keine Bewertung erforderlich
	Anhang 2 Tabelle A2.1	Bewertung NUR für Träger aktiver Implantate erforderlich, WENN Abstände kleiner 15 cm möglich sind
1 Smartphone	Anhang 1 Tabelle A1.1	keine Bewertung erforderlich
	Anhang 2 Tabelle A2.1	Bewertung NUR für Träger aktiver Implantate erforderlich, WENN Abstände kleiner 15 cm möglich sind
1 WLAN-Repeater	Anhang 1 Tabelle A1.1	ggf. ausgewiesenen Sicherheitsabstand* einhalten
	Anhang 2 Tabelle A2.1	Bewertung NUR für Träger aktiver Implantate erforderlich
1 Indoor-Mobilfunkbasissta- tion (Mikrozellen-Basissta- tion)	Mobilfunkbetreiber	ggf. ausgewiesenen Sicherheitsabstand* einhalten
LED-Schreibtischlampe	Anhang 1 Tabelle A1.1	keine Bewertung erforderlich
	Anhang 2 Tabelle A2.1	Bewertung NUR für Träger aktiver Im- plantate erforderlich, wenn Lampen mit Magnetfußhaltern ausgestattet
Pinnwandmagnete, z. B. aus Neodym	Anhang 1 Tabelle A1.1	keine Bewertung erforderlich
	Anhang 2 Tabelle A2.1	Bewertung NUR für Träger aktiver Im- plantate erforderlich
Besprechungsraum, mit Beamer und kabelloser Videoübertragung	Anhang 1 Tabelle A1.1	keine Bewertung erforderlich
	Anhang 2 Tabelle A2.1	Bewertung NUR für Träger aktiver Im- plantate erforderlich, WENN Abstände kleiner 15 cm möglich sind, z. B. bei Tätigkeiten wie Fehlerdiagnose
Schaltnetzteile als Bestand- teile der oben genannten EMF-Quellen	Anhang 1 Tabelle A1.1	keine Bewertung erforderlich
	Anhang 2 Tabelle A2.1	Bewertung NUR für Träger aktiver Implantate erforderlich, WENN Abstände kleiner 15 cm möglich sind

EMF-Quellen (Arbeitsmittel)	Informationsquelle	Emissions- bzw. Expositionsangabe (Abstandsangabe zur Implantatposition)
– Kochnische, mit: - Mikrowelle, - Kaffeemaschine, - Wasserkocher und - 1 Platten-/Induktionskochfeld	Anhang 1 Tabelle A1.1	keine Bewertung erforderlich keine Bewertung erforderlich keine Bewertung erforderlich bei Dauerbetrieb Funktionsfähigkeit der Abschaltautomatik gewährleisten
– Kochnische, mit: - Mikrowelle, - Kaffeemaschine, - Wasserkocher und - 1 Platten-/Induktionskochfeld	Anhang 2 Tabelle A2.1	keine Bewertung erforderlich keine Bewertung erforderlich keine Bewertung erforderlich bei Dauerbetrieb Funktionsfähigkeit der Abschaltautomatik gewährleisten, Bewertung NUR für Träger aktiver Implantate erforderlich
Mobilfunkstandort auf benachbartem Grundstück	Standortbescheinigung BNetzA	ausgewiesene Mindestabstände auf Basis 26. BImSchV werden vom Mobilfunkbetreiber eingehalten, keine Bewertung erforderlich
Überlandleitung, die die Arbeitsstätte überspannt	örtlicher Energieversorger, digitale Kartendienste	Grenzwerte nach 26. BImSchV werden vom Netzbetreiber eingehalten, keine Bewertung erforderlich

Anmerkung: * Der ggf. ausgewiesene Sicherheitsabstand ist eine Hersteller- bzw. Betreiberangabe. Dieser Abstand zur EMF-Quelle gewährleistet, dass die Immissionswerte für die Allgemeinbevölkerung, z. B. Referenzwerte nach Tabelle 2 EU-Ratsempfehlung zu EMF 1999/519/EG, eingehalten werden.

A3.5 Bewertung der direkten und indirekten Gefährdungen

A3.5.1 Direkte Wirkungen – nichtthermisch

Im Rahmen der regulären Tätigkeiten können nach Tabelle A3.2 direkte nichtthermische Wirkungen ausgeschlossen werden.

Additive Wirkungen treten bei niederfrequenten EMF nicht auf, weswegen diese nicht weiter berücksichtigt werden müssen.

Weitere Bewertungen der Expositionssituation sind somit nicht notwendig.

A3.5.2 Direkte Wirkungen – thermisch

Im Rahmen der regulären Tätigkeiten können nach Tabelle A3.2 direkte thermische Wirkungen ausgeschlossen werden.

Additive Wirkungen können bei hochfrequenten EMF auftreten und müssen somit bewertet¹ werden: Aufgrund des in Fußnote 1 beschriebenen Zusammenhangs ist ein nennenswerter

¹ Bei der Bewertung additiver Wirkungen spielt folgender physikalischer Zusammenhang eine entscheidende Rolle: Die Feldstärken hochfrequenter EMF nehmen näherungsweise quadratisch, d. h. sehr stark, mit der Entfernung von der Quelle ab (quadratisches Abstandsgesetz).

Weiterhin sind die Sendeleistungen der in Tabelle A3.1 aufgeführten EMF-Quellen im Bereich von wenigen 100 mW bzw. von unteren einstelligen Watt und sind somit als gering zu betrachten.

Beides zusammen resultiert in einer vernachlässigbaren additiven Wirkung, auch wenn sich zwei oder mehr EMF-Quellen in direkter Nähe zum Beschäftigten befinden, z. B. bei paralleler Nutzung von Tablet in WLAN/LTE-Modus und DECT-Telefon sowie dem Smartphone in GSM und WLAN/LTE-Modus z. B. in einer Hosentasche.

Beitrag der additiven Wirkung bei den in Tabelle A3.1 genannten EMF-Quellen zur Bewertung der thermischen Wirkungen nicht zu erwarten.

Weitere Bewertungen der Expositionssituation sind nicht notwendig.

A3.5.3 Indirekte Wirkungen

Die Anwendung der in Tabelle A3.1 aufgeführten Arbeitsmittel und sonstigen Büroausstattungen führt am beschriebenen Arbeitsplatz nicht zu Projektilwirkung, Auslösung von Zündvorrichtungen, Funkenbildung, Entladungen oder Kontaktströmen.

Die für die Bewertung der Expositionssituation herangezogene Bewertungstabelle (Anhang 2 Tabelle A2.1) fordert bei einigen EMF-Quellen eine individuelle Bewertung für Träger aktiver Implantate. Die Sicherheit von Trägern aktiver Implantate wird über die Einhaltung der Schwellenwerte nach Teil 2 Anhang 1 Tabellen A1.25 und A1.26 gewährleistet. Für die in Tabelle A3.2 bewerteten EMF-Quellen werden die Schwellenwerte mittels einfacher Maßnahmen eingehalten, wie z. B. Mindestabstand zwischen Implantat und EMF-Quelle.

A3.6 Fazit für Bürotätigkeiten

Die ALS nach Anhängen 2 und 3 EMFV für Beschäftigte werden eingehalten. Die Schwellenwerte zur Beeinflussung aktiver Implantate im Sinne des Forschungsberichts FB 451 können durch Mindestabstände zwischen Implantat und EMF-Quelle eingehalten werden. Diese Mindestabstände können von den ggf. ausgewiesenen Sicherheitsabständen abweichen.

A3.7 Fazit für Reinigungs- und Handwerkertätigkeiten in unmittelbarer Nähe zu einem Repeater

Hierunter fallen z. B. folgende Tätigkeiten: Reinigungsarbeiten, Wechsel von Leuchtmitteln der Allgemeinbeleuchtung oder Malerarbeiten in der unmittelbaren Umgebung zum WLAN-Repeater oder der Mobilfunkbasisstation. Diese Tätigkeiten unterscheiden sich von regulären Bürotätigkeiten dadurch, dass die Beschäftigten direkt an der betreffenden EMF-Quelle ihre Tätigkeiten ausführen, das heißt möglicherweise innerhalb der ggf. ausgewiesenen Sicherheitsabstände.

Die ALS nach Anhängen 2 und 3 EMFV für Beschäftigte werden in der Regel auch bei Reinigungs- und Handwerkertätigkeiten direkt an der betreffenden EMF-Quelle eingehalten. Die Schwellenwerte zur Beeinflussung aktiver Implantate im Sinne des Forschungsberichts FB 451 können durch Mindestabstände zwischen Implantat und EMF-Quelle eingehalten werden. Diese Mindestabstände können von den ggf. ausgewiesenen Sicherheitsabständen abweichen. Zur Ableitung individueller Schutzmaßnahmen für besonders schutzbedürftige Beschäftigte nach § 3 Absatz 7 EMFV ist die Durchführung einer individuellen Bewertung erforderlich.

A3.8 Gefährdungsbeurteilung

Die Bewertung der direkten Wirkungen in diesem Expositionsszenario ergibt, dass untere ALS bzw. ALS für thermische Wirkungen von den in Tabelle A3.1 aufgeführten Arbeitsmitteln und sonstiger Büroausstattung nicht überschritten werden und somit keine Gefährdungen durch direkte Wirkungen bestehen.

Die Bewertung der indirekten Wirkungen in diesem Expositionsszenario ergibt, dass die Schwellenwerte zur Beeinflussung aktiver Implantate im Sinne des Forschungsberichts FB 451 nur bei ausgewählten Arbeitsmitteln bei Unterschreitung von Mindestabständen zwischen EMF-Quelle und Implantat überschritten werden könnten.

Die Informationen zu den in Tabelle A3.2 aufgeführten Arbeitsmitteln können für weitere Gefährdungsbeurteilungen vergleichbarer Arbeitssituationen bzw. -plätze herangezogen werden. Sie bilden damit eine wichtige Grundlage für eine vereinfachte Gefährdungsbeurteilung nach § 3 Absatz 6 EMFV (siehe Abschnitt 6.4).

Die hier durchgeführte Gefährdungsbeurteilung bezieht sich auf den Gefährdungsfaktor EMF. Alle weiteren Gefährdungsfaktoren werden in gesonderten Teilen der Gefährdungsbeurteilung erfasst.

A3.9 Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten

Unter den beschriebenen Arbeitsbedingungen ist eine individuelle Bewertung für besonders schutzbedürftige Beschäftigte zur Ableitung individueller Schutzmaßnahmen nicht erforderlich.

Besonders schutzbedürftige Beschäftigte, im engeren Sinne Träger aktiver Implantate im Sinne des Forschungsberichts FB 451, müssen dahingehend unterwiesen werden, dass bei der Benutzung folgender Arbeitsmittel und sonstiger Büroausstattung Mindestabstände zwischen EMF-Quelle und Implantat einzuhalten sind:

1. Multifunktionsgerät,
2. WLAN-Repeater,
3. Mobilfunkbasisstation,
4. Schaltnetzteile,
5. Pinnwand- und Dauermagnete (Namensschilder, Handyhüllen etc.) und
6. Induktionskochfeld.

Aus Gründen der Einfachheit werden die empfohlenen Mindestabstände zwischen Implantat und EMF-Quelle auf einen Wert vereinheitlicht: 30 cm bzw. eine Unterarmlänge.

Pinnwand- und Dauermagnete dürfen nicht in Implantatnähe (z. B. Brusttaschen) transportiert werden.

Es sind keine Maßnahmen zum Schutz der weiteren Beschäftigten vor EMF erforderlich.

Anhang 4: Empfehlung zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung, Beispiel Besteigung eines Antennenträgers mit Rundfunksendeantennen

Die hier aufgeführte Empfehlung zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung entfaltet keine Vermutungswirkung im Sinne von § 21 Absatz 6 Nummer 1 BetrSichV.

A4.1 Arbeitsort

Es handelt sich bei dem Arbeitsort um einen Antennenträger (Mast, Tragwerk) mit montierten Sendeantennen, die hauptsächlich zur Abstrahlung von Rundfunkprogrammen und Datendiensten dienen. Häufig sind an den Antennenträgern Anlagen anderer Funkdienste sogenannter „Mitbenutzer“ vorhanden.

Ein Antennenträger kann für Montage- und Wartungszwecke z. B. mittels einer Leiter bestiegen werden. Entlang des Bauwerks befinden sich außerdem die Speisekabel zu den montierten Sendeantennen sowie dazugehörige Antennenverteiler. Diese Bauteile können in unmittelbarer Nähe zur Leiter und anderen Aufenthaltsbereichen montiert sein.

In verschiedenen Höhen gibt es Wartungsplattformen.

Abbildung A4.1 zeigt beispielhaft den oberen Abschnitt eines 240 m hohen Antennenträgers. Zu erkennen sind mehrere Rundfunksendeantennen an der Spitze sowie unter der oberen Plattform.

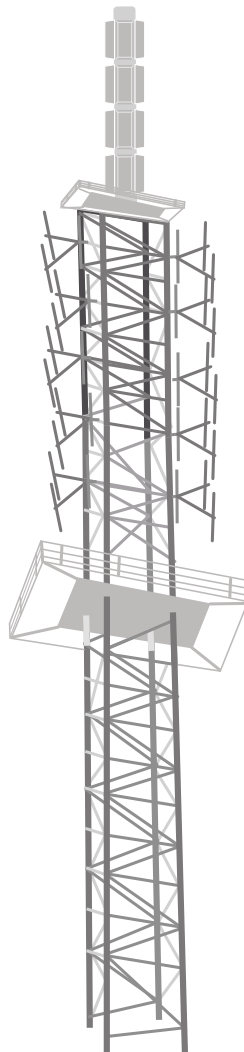


Abb. A4.1 Oberer Teil eines 240 m hohen Antennenträgers mit Rundfunksendeantennen

A4.2 Art der Arbeit

Bei verschiedenen Inspektions- und Wartungsarbeiten müssen Beschäftigte den Antennenträger besteigen. Hierzu zählen beispielsweise Antennenmonteure, Servicepersonal, aber auch Maler und Mastinspektoren. Es kann davon ausgegangen werden, dass nur solche Personen den Antennenträger besteigen, die eine umfassende Unterweisung über die exponierten Bereiche und die erforderlichen Verhaltensregeln erhalten haben.

Im Antennenträger sind die Bereiche, in denen die ALS überschritten werden, mit Schildern gekennzeichnet.

Ein Beschäftigter bewegt sich beim Aufstieg in dem Antennenträger mit einer Geschwindigkeit von ca. 10 m pro Minute entlang des Steigweges (DIN EN 50496). Je nach auszuführender Tätigkeit ist ein Verweilen im Tragwerk an verschiedenen Stellen erforderlich.

A4.3 Angaben zu den Anlagen, die elektromagnetische Felder erzeugen

Üblicherweise sind an Antennenträgern Anlagen von Mitbenutzern vorhanden. Dazu zählen Mobilfunkanlagen, Anlagen des nichtöffentlichen mobilen Landfunkdienstes (nömL), Richtfunkanlagen, Flugfunkanlagen, Amateurfunkanlagen etc. sowie im niederfrequenten Bereich Installationen zur Stromversorgung von Flughindernissbefeuernungen oder weiteren 230-V-Verbrauchern.

Alle vorhandenen Anlagen müssen bei der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden. Im folgenden Beispiel wird die Gefährdungsbeurteilung anhand von zwei Rundfunkdiensten (DAB $f \approx 200$ MHz, UKW $f \approx 100$ MHz) exemplarisch durchgeführt.

Rundfunksendeantennen sind meistens als Gruppenantennen realisiert. Die Baulänge kann zwischen ca. 2 m und 25 m variieren. Dazu gehören auch Antennenverteiler und Speisekabel, die teilweise parallel zum Steigweg verlaufen. Diese stellen auch Feldquellen dar, die ebenfalls bei der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden müssen. Die abgestrahlten Leistungen sind an jeder Gruppenantenne verschieden und betragen je nach Versorgungsziel zwischen 100 W und mehreren 100 kW Strahlungsleistung (ERP). Entsprechend unterschiedlich sind auch die Expositionsbedingungen in den verschiedenen Aufenthaltsbereichen des Antennenträgers. In Aufenthaltsbereichen in der Nähe von Sendeantennen mit hohen Sendeleistungen können Auslöseschwellen überschritten werden.

A4.4 Verwendung der Anlage

Rundfunksendeanlagen sind in der Regel mit unverändertem Betriebszustand rund um die Uhr in Betrieb. Sie dienen der Verbreitung von Rundfunkinhalten für die Bevölkerung, insbesondere der Informationsverbreitung in Not- und Katastrophenlagen.

Darüber hinaus gibt es oftmals Anlagen von Mitbenutzern wie z. B. Mobilfunkanlagen und Anlagen des nichtöffentlichen mobilen Landfunkdienstes, deren momentaner Betriebszustand unbekannt ist. Hier sind lediglich die Maximalwerte der von den Anlagen ausgehenden Feldbelastung bekannt.

A4.5 Informationsbeschaffung und Messungen

Da Antennenträger in der Regel individuell belegt sind, ist eine individuelle Bewertung erforderlich.

Ein Antennenträger ist eine komplexe mechanische Struktur, die nur mit sehr hohem Aufwand anhand von Simulationen bewertet werden kann. Um eine Bewertung der Feldexposition durchführen zu können, ist es daher erforderlich, die Feldstärkewerte messtechnisch zu ermitteln. Durch die individuelle Ausführung von Rundfunkantennen ist ein Vergleich mit anderen Sendeantennen in der Regel nicht möglich. Deshalb bilden gemessene Feldstärkewerte die Basis für die Bewertung der Exposition von Beschäftigten im Aufenthaltsbereich von Rundfunksendeantennen.

Vor der Beurteilung der Exposition erfolgt die breitbandige Messung der abgeleiteten Werte für das elektrische und magnetische Feld entlang des Steigweges. Zusätzlich zu der Ermittlung entlang des Steigweges werden Werte in Bereichen aufgenommen, wo Beschäftigte sich unter normalen Bedingungen längere Zeit aufhalten können, z. B. auf Ruhe- und Arbeitsplattformen. Es ist zu beachten, dass es in der Nähe von metallischen Bauteilen (z. B. Geländer, Leitern, Tragwerksbauteile) ggf. zu erhöhten Messwerten kommt.

Hilfreich zur Durchführung der Messungen ist eine Messeinrichtung, die entlang des Steigweges mechanisch geführt wird und die Messwerte wegstreckenabhängig breitbandig erfasst und speichert. Die Messeinrichtung berücksichtigt die ungefähre Position des Körpers des Beschäftigten, der sich im Abstand von ca. 30 cm von der Leiter befindet. Für die Ermittlung der Werte auf Plattformen bieten sich zusätzlich handgeführte Messgeräte an. Zur Beurteilung von Bereichen, die relevante Komponenten von Frequenzen mit unterschiedlichen Grenzwerten aufweisen, sollten diese frequenzselektiv arbeiten.

Insbesondere auf Plattformen existiert eine stark inhomogene Feldverteilung aufgrund der metallischen Bauwerksstrukturen. Ziel bei der handgeführten Messung ist es, durch eine Abtastung des Volumens, in dem sich Personen aufhalten können, die maximal auftretende Feldstärke zu ermitteln. Dabei sind die Bereiche, in denen es zu Feldstärkeerhöhungen durch metallische Strukturen des Bauwerks kommt, bei der Ermittlung der maximalen Feldstärke auszuschließen.

Eine Übersicht über die ALS in Abhängigkeit zu den Sendefrequenzen gibt Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.21.

Als Ergebnis der Messungen der EMF entlang eines Steigweges erhält man Messwerte, wie sie beispielhaft in Abbildung A4.2 dargestellt sind.

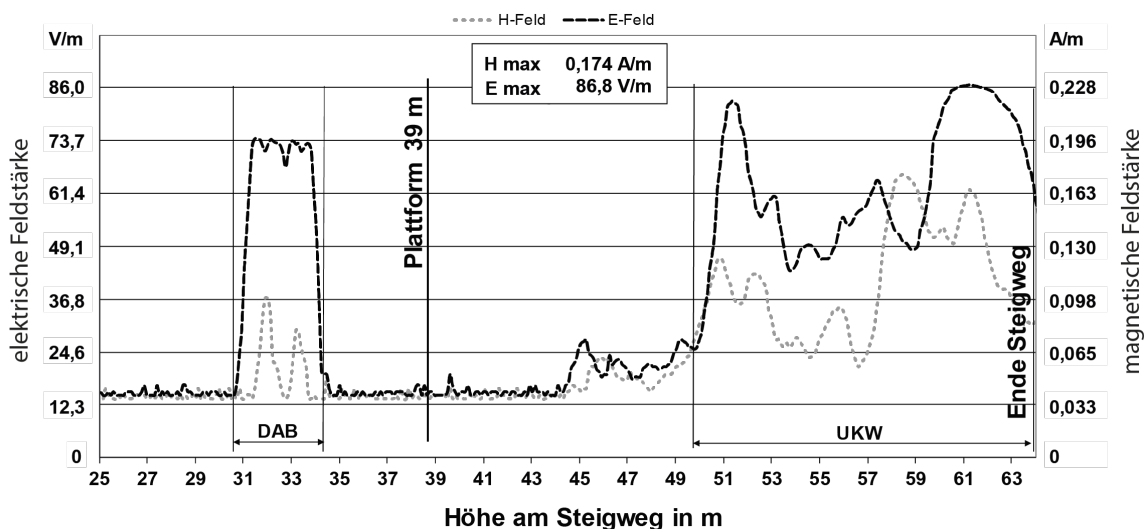


Abb. A4.2 Feldstärkeverlauf für das elektrische und magnetische Feld am Steigweg, im Abstand von 30 cm zur Leiter

In der Tabelle A4.1 sind die Auslöseschwellen für die in dem Beispiel geltenden Frequenzen aufgeführt.

Tab. A4.1 Übersicht über die gültigen ALS im Frequenzbereich von 10 MHz bis 400 MHz

Frequenzbereich	Effektivwert E	Effektivwert H	Mittelwert S
10 MHz \leq f < 400 MHz	61,4 V/m	0,163 A/m	10 W/m ²

A4.6 Bewertung

Als nächster Schritt müssen die gemessenen Feldstärkewerte in Relation zu den Auslöseschwellen betrachtet werden. Dafür ist Anmerkung 2 zu Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.21 zu berücksichtigen. Danach sind die Werte für E, H und S bis 10 GHz über ein Sechs-Minuten-Intervall zu mitteln.

In Abbildung A4.3 sind die Messwerte aus Abbildung A4.2 als Expositionsindex (in Prozent der Auslöseschwelle) dargestellt. Unter Berücksichtigung der Messunsicherheit ist zunächst festzulegen, an welchen Messorten die gemessenen Werte die Auslöseschwellen überschreiten. Die Berücksichtigung der Messunsicherheit erfolgt durch entsprechende Herabsetzung der Auslöseschwelle und wird mit der waagerechten unteren Linie dargestellt (Beschriftung in der Abbildung „Auslöseschwelle inklusive Messunsicherheit“).

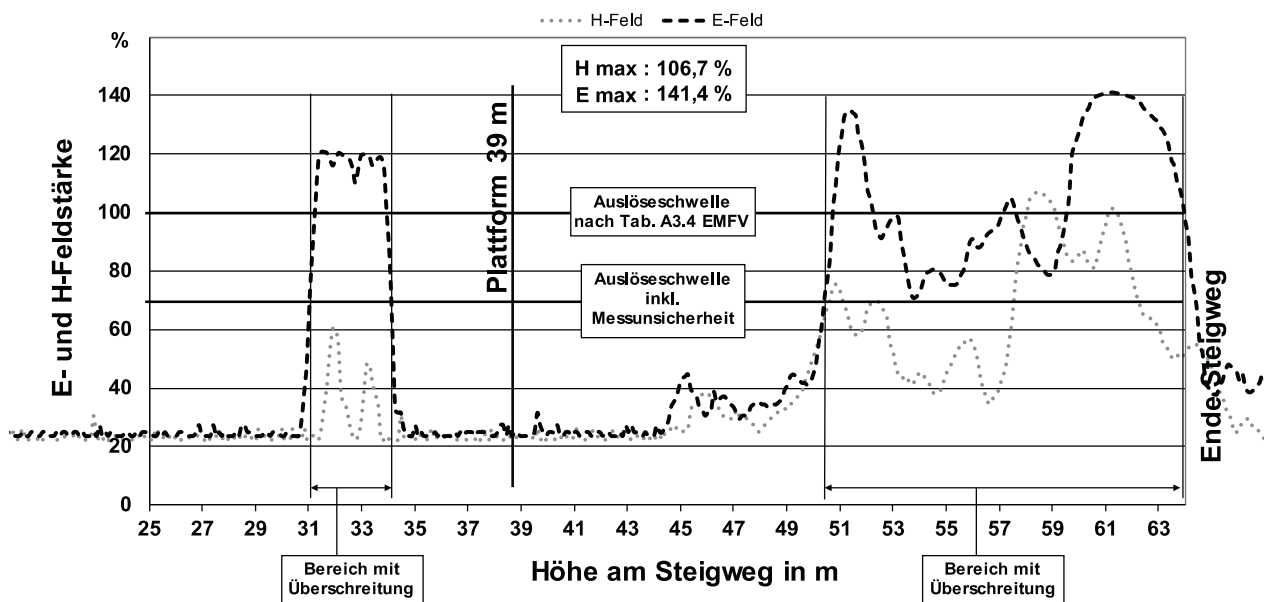


Abb. A4.3 Verlauf des Expositionsindex für das elektrische und magnetische Feld entlang des Steigwegs, im Abstand von 30 cm zur Leiter

In dem in Abbildung A4.2 gezeigten Beispiel existiert bei 30 m ein Bereich entlang des Steigwegs, an dem die Feldexpositionen die ALS für die elektrische Feldstärke überschreitet. Hier ist ein dauerhafter Aufenthalt von Beschäftigten nicht zulässig. Oberhalb dieses Leiterabschnittes unterschreitet die Exposition die ALS deutlich. Die räumliche Ausdehnung des Bereiches, in dem die ALS überschritten wird, beträgt ca. 3 m. Um die Körperlänge zu berücksichtigen, wird diese zu dem Bereich der Überschreitung hinzuaddiert. Die Körperlänge beträgt 185,5 cm [DIN 33402-2].

Um zu bewerten, ob und ggf. unter welchen Voraussetzungen dieser Leiterabschnitt durchstiegen werden kann, muss zunächst eine Mittelung der ermittelten Expositionswerte über 6 min erfolgen. Zum gefahrlosen Durchstieg des Bereiches muss anschließend geprüft werden, ob die über 6 min gemittelten Expositionswerte den Auslösewert unterschreiten.

Um die zeitliche Mittelung der Exposition auf dem Steigweg durchführen zu können, muss die Geschwindigkeit bekannt sein, mit der ein Beschäftigter im Tragwerk steigt. Diese wird mit 10 m/min angesetzt [DIN EN 50496].

In der Abbildung A4.3 ändern sich im Bereich um 30 m die gemessenen Expositionswerte nur um wenige Prozent. Daher wird zur Vereinfachung der Integration eine konstante Exposition in diesem Bereich angenommen, die dem auftretenden Maximalwert entspricht.

Die Bedingung, unter der ein Durchsteigen möglich ist, lautet: $\sum_i E_i^2 \cdot t_i \leq E_a^2 \cdot 6 \text{ min}$.

Dabei ist E_i der i -te gemessene Expositionswert, t_i die Dauer, in welcher der i -te Expositionswert als konstant angenommen werden kann, und E_a die ALS der elektrischen Feldstärke.

Wie in Abbildung A4.3 ersichtlich, beträgt die Exposition dort maximal $E = 73,7 \text{ V/m}$. Unter Berücksichtigung der Messunsicherheit von $u = 3 \text{ dB}$ muss eine elektrische Feldstärke von $E = 103,89 \text{ V/m}$ für die Bewertung herangezogen werden. Aus der o. g. Bedingung ergibt sich, dass ein Beschäftigter dieser Exposition höchstens für eine Zeit von $T_{\text{exp}} = 2,1 \text{ min} = 2 \text{ min } 6 \text{ s}$ ausgesetzt sein darf.

Bei einer Steiggeschwindigkeit von $v_{\text{steig}} = 10 \text{ m/min}$ beträgt die gesamte Zeit zum Durchsteigen des Bereiches zwischen 31 m und 34 m zuzüglich der Körperlänge, in dem die ALS der elektrischen Feldstärke überschritten wird, etwa 30 Sekunden. Diese Zeit ist kleiner als die oben berechnete maximale Expositionsdauer von $T_{\text{exp}} = 2,1 \text{ min}$.

Damit ist ein Durchstieg durch diesen Bereich unter der Voraussetzung möglich, dass eine anschließende Verweilzeit in einem Bereich mit vernachlässigbarer Exposition stattfindet, wie z. B. auf der Plattform bei 39 m.

Für den Bereich oberhalb von etwa 50 m ist die ALS für die elektrische Feldkomponente überall überschritten. Da es oberhalb von 50 m keinen weiteren Aufenthaltsbereich gibt, bei dem die Auslöseschwellen unterschritten werden, ist ein Einstieg in diesem Bereich nur möglich, wenn Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdung von Beschäftigten durch EMF durchgeführt werden.

Eine äquivalente Betrachtung ist für die magnetische Feldkomponente durchzuführen, sofern es Bereiche gibt, an denen diese die Auslösewerte überschreitet.

Sofern auf Basis einer Feldkomponente ein Bereich als nicht durchsteigbar identifiziert wurde, ist eine Betrachtung der anderen Feldkomponente nicht mehr erforderlich.

Die Bewertung der Ergebnisse hat ergeben, dass ein Leiterabschnitt, in dem die Auslösewerte überschritten werden, durchstiegen werden kann, ohne dass Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition ergriffen werden müssen. Zu betonen ist, dass der betreffende Bereich zügig durchstiegen werden muss und dort keine Arbeiten erfolgen dürfen, da diese zu einer unzulässigen Exposition führen würden.

Für die Bewertung der Exposition mittels handgeführten Messungen auf Plattformen und Steigwegen ist zu prüfen, ob der maximal ermittelte Wert im Volumen die Auslösewerte überschreitet. Ist dies der Fall, muss anhand der ermittelten Werte eine maximal mögliche Aufenthaltsdauer in den betreffenden Bereichen festgelegt werden.

Zusammenfassend ergibt die Bewertung, dass ein Durchstieg durch den Bereich bei 30 m für einen Beschäftigten mit einer Durchstiegszeit von maximal ca. 2 min möglich ist, jedoch ein Einstieg in den Bereich oberhalb von 50 m nur mit Schutzmaßnahmen erfolgen darf.

A4.7 Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten

A4.7.1 Bereichsabschaltung

Finden Arbeiten im Antennenträger statt, können durch Abschaltung einzelner Antennen oder Halbantennen Bereiche zugänglich gemacht werden.

A4.7.2 Leistungsreduktion

In manchen Fällen kann durch Reduktion der Sendeleistung ein zeitlich beschränkter oder dauernder Aufenthalt ermöglicht werden.

A4.7.3 Gegen unbeabsichtigtes Wiedereinschalten sichern

So lange sich Personen in Bereichen aufhalten, die durch Leistungsreduktion oder Bereichsabschaltungen zugänglich werden, müssen diese Bereiche gegen unbeabsichtigtes Wiedereinschalten gesichert sein.

A4.7.4 Kennzeichnung der Bereiche

Die Bereiche im Antennenträger, an denen die Auslösewerte überschritten werden und besondere Verhaltensregeln erfordern, sind mit Schildern „Warnung vor elektromagnetischem Feld“ deutlich erkennbar und dauerhaft zu kennzeichnen.

A4.7.5 HF-Schutzanzüge

Zur Zeit der Drucklegung und Veröffentlichung dieser TREMF war am Markt keine PSA zum Schutz vor Gefährdungen durch EMF verfügbar. Somit werden von Beschäftigten der Rundfunkanstalten HF-Schutzanzüge nicht verwendet. Die Maßnahmen Leistungsreduzierung oder Bereichsabschaltung sind stattdessen anzuwenden.

A4.7.6 Erstellen von Betriebsanweisungen

Für das Besteigen eines Antennenträgers kann ggf. eine Betriebsanweisung erstellt werden, in der auch das Thema „Verhalten in elektromagnetischen Feldern“ einschließlich durchzuführender Schutzmaßnahmen einbezogen ist.

A4.7.7 Unterweisung

Eigene Beschäftigte und Personal von Fremdfirmen sind über die Gefahren und das richtige Verhalten in dem Antennenträger zu unterweisen. Dieses umfasst auch den Hinweis auf die Beachtung der Kennzeichnungen und die Einhaltung der Verhaltensregeln in Bezug auf die Anlage (siehe z. B. Betriebsanweisung).

A4.8 Kontrolle der Wirksamkeit der Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten

A4.8.1 Kontrollmessungen

Die Wirksamkeit der festgelegten Maßnahmen durch Leistungsreduzierung oder Abschaltungen sind mittels Kontrollmessungen nach der Festlegung der Maßnahme zu überprüfen. Bei feldrelevanten Änderungen der Antennenanlage ist eine erneute Überprüfung der festgelegten Maßnahmen erforderlich.

A4.8.2 Verwendung von persönlichen HF-Kontrollmonitoren

Zur Warnung vor unerwarteten Feldbelastungen kann von den Beschäftigten ein HF-Kontrollmonitor mitgeführt werden.

Technische Regeln zur Arbeitsschutz- verordnung zu elektromagnetischen Feldern	TREMf Elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz	Teil 2: Messen, Berechnen und Bewerten von Expositionen gegenüber elektromagneti- schen Feldern im Frequenz- bereich von 100 kHz bis 300 GHz
---	---	---

Die Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz (TREMf HF) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder wieder.

Sie werden vom **Ausschuss für Betriebssicherheit** unter Beteiligung des **Ausschusses für Arbeitsmedizin** ermittelt bzw. angepasst und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Gemeinsamen Ministerialblatt (GMBI) bekannt gegeben.

Diese TREMf HF Teil 2 „Messen, Berechnen und Bewerten von Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz“ konkretisiert im Rahmen ihres Anwendungsbereichs die Anforderungen der Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern (EMFV). Bei Einhaltung dieser Technischen Regel kann der Arbeitgeber davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Verordnung erfüllt sind. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz für die Beschäftigten erreichen.

Inhalt

- 1 Anwendungsbereich
 - 2 Begriffsbestimmungen
 - 3 Grundsätzliches
 - 4 Ermittlung der Exposition
 - 5 Mess- und Berechnungsunsicherheit
 - 6 Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen
 - 7 Bewertung der Exposition
 - 8 Verfahren für die Bewertung von EMF-Quellen mit nicht konstanter Leistungsabgabe
 - 9 Verfahren zum Nachweis der Einhaltung von Expositionsgrenzwerten
 - 10 Ergebnisdokumentation, Messbericht
 - 11 Literaturhinweise
- Anhang 1 Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen, Expositionszonen
- Anhang 2 Ergänzungen zur Durchführung von Expositionsmessungen
- Anhang 3 Ergänzungen zu Simulations- und Berechnungsverfahren
- Anhang 4 Ergänzungen zu Mess- und Berechnungsunsicherheiten

- Anhang 5 Ergänzungen zu Verfahren zum Nachweis der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte
- Anhang 6 Berechnungsbeispiele für die Bewertung von EMF-Quellen mit nicht konstanter Leistungsabgabe
- Anhang 7 Ergänzungen zur Bewertung von EMF-Quellen mit nicht konstanter Leistungsabgabe

1 Anwendungsbereich

- (1) Der Teil 2 „Messen, Berechnen und Bewerten von Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz“ der TREMF HF beschreibt das Vorgehen bei den Messungen und Berechnungen von Expositionen nach dem Stand der Technik, wie es in der EMFV gefordert wird.
- (2) Die TREMF HF gilt für elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz. Sie gilt nach § 1 Absätze 2 und 3 EMFV nur für Kurzzeitwirkungen und nicht für vermutete Langzeitwirkungen.
- (3) Unabhängig von den in dieser TREMF HF beschriebenen Vorgehensweisen sind vom Arbeitgeber die Beschäftigten oder ihre Interessenvertretung, sofern diese vorhanden ist, aufgrund der einschlägigen Vorschriften zu beteiligen.

2 Begriffsbestimmungen

In diesem Teil 2 „Messen, Berechnen und Bewerten von Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz“ der TREMF HF werden Begriffe so verwendet, wie sie im Teil „Allgemeines“ der TREMF HF erläutert sind.

3 Grundsätzliches

- (1) Nach § 3 der EMFV hat der Arbeitgeber im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung die auftretenden Expositionen durch EMF an Arbeitsplätzen zu ermitteln und zu bewerten. Dabei sind alle auf den Arbeitsplatz einwirkenden EMF, relevanten Frequenzanteile und deren direkte und indirekte Wirkungen zu berücksichtigen.

Hinweis: Je nach Bewertung der auftretenden Expositionen ist eine vereinfachte Gefährdungsbeurteilung (siehe Teil 1 Abschnitt 6.4) ausreichend.

- (2) Lässt sich mit den vorhandenen Informationen nicht sicher feststellen, ob die ALS oder EGW nach Abschnitt 6 eingehalten werden, ist die Exposition durch Messungen, Berechnungen oder Simulationen nach § 4 EMFV festzustellen. Messungen, Berechnungen und Simulationen werden nach dem Stand der Technik fachkundig geplant und durchgeführt. Die eingesetzten Messverfahren und Messgeräte sowie eventuell erforderliche Berechnungs- oder Simulationsverfahren müssen den Expositionsbedingungen angepasst und die Ergebnisse geeignet sein, den Vergleich mit den ALS oder EGW zu erlauben.
- (3) Für Messungen ist zu beachten, dass im Nahfeld keine feste Beziehung zwischen E und H besteht, weswegen beide Feldgrößen separat betrachtet werden müssen (siehe Anhang 2 Abschnitt A2.1).

(4) Das Messen, Berechnen oder Simulieren der EMF-Exposition ist eine komplexe Aufgabe und erfordert entsprechende Fachkenntnisse und Erfahrungen (Fachkunde nach § 2 Absatz 8 und § 4 EMFV, siehe Teil 1 Abschnitt 3.4). Der Arbeitgeber beauftragt damit fachkundige Personen, falls er nicht selbst über die entsprechenden Kenntnisse und die erforderliche technische Ausstattung (im Sinne von Messtechnik oder Hilfsmittel zur Berechnung oder Simulation von EMF) verfügt.

(5) Hilfen für die Planung und Durchführung von Messungen, Berechnungen und Simulationen von EMF bieten die in dieser TREMF zitierten technischen Normen. Die folgenden Abschnitte enthalten wichtige Hinweise zum Vorgehen bei Messungen, Berechnungen und Simulationen sowie der Bewertung der EMF-Exposition.

Hinweis: Für einen Überblick über Verfahren zur Messung, Berechnung und Bewertung von EMF an Arbeitsplätzen siehe DIN EN 50413.

(6) Das Ergebnis einer Messung spiegelt die Expositionssituation der zum Zeitpunkt der Messung verwendeten technischen Anlagenkonfiguration der EMF-Quelle wider. Das Ergebnis einer Berechnung quantifiziert näherungsweise die Expositionssituation auf Basis der Expositionsbedingungen, die bei Berechnung oder Simulation angenommen wurden.

4 Ermittlung der Exposition

(1) Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist zunächst festzustellen, ob zur Ermittlung der Exposition Messungen, Berechnungen oder Simulationen notwendig sind oder ob nicht bereits genügend Informationen (siehe Teil 1 Abschnitt 5.2) vorhanden sind, um die Exposition ausreichend genau zu bestimmen, z. B. für EMF-Quellen nach Teil 1 Abschnitt 6.3 und Teil 1 Abschnitt 6.4 in Verbindung mit Teil 1 Anhang 1 Tabelle A1.1 bzw. Teil 1 Anhang 2 Tabelle A2.1.

(2) Die Informationsermittlung umfasst ebenfalls die Ergebnisse der Tätigkeitsanalyse (siehe Teil 1 Abschnitt 6.2). Diese ist mit den tatsächlichen Arbeitsbedingungen vor Ort abzugleichen.

(3) Lässt sich mit den verfügbaren Informationen keine eindeutige Bewertung durchführen, ob die ALS oder EGW eingehalten oder überschritten werden, dann ist eine Messung, Berechnung oder Simulation der Exposition angezeigt.

(4) Für jede einzelne Tätigkeit müssen die Angaben vollständig genug sein, um die Exposition der Beschäftigten repräsentativ zu ermitteln und zu bewerten.

4.1 Expositionsmessung

4.1.1 Planung und Vorgehen

(1) Vor der Messung ist eine sorgfältige Planung durchzuführen. Dabei ist festzustellen, um welche EMF-Quellen es sich handelt und welche Art von EMF bzw. welcher Frequenzbereich als auch welche Feldstärken bzw. Leistungen erwartet werden (siehe Teil 1 Abschnitt 6.2).

Hinweis 1: Daraus ergibt sich, welche Messverfahren, Messgeräte und -sonden einzusetzen und wie bzw. an welchen Orten die Messungen durchzuführen sind. Hierbei sind Orientierungsmessungen zweckmäßig.

Hinweis 2: Liegen keine Informationen zu dem Frequenzbereich oder den dominierenden Frequenzanteilen vor, so ist eine Messung oder Berechnung des Amplitudenspektrums, z. B. mittels Spektrumanalysator bzw. Fast Fourier Transformation (FFT), hilfreich. Für die Berechnung des Amplitudenspektrums sind Angaben über den zeitlichen Feldverlauf in unmittelbarer Nähe der relevanten Arbeitsplätze bzw. Aufenthaltsbereiche notwendig.

- (2) Bei der Messung ist darauf zu achten, dass durch die Anwesenheit von Personen das Messergebnis nicht verfälscht wird.
- (3) Für einen störungsfreien Ablauf der Messungen wird empfohlen, im Vorfeld zu prüfen, ob zur geplanten Messung:
1. Zutritt zu relevanten Aufenthaltsbereichen gewährt wird,
 2. die relevanten EMF-Quellen funktionsfähig sind und ein Normalbetrieb unter Belastung möglich ist,
 3. die an diesen EMF-Quellen tätigen Beschäftigten anwesend sind und für Rückfragen zur Verfügung stehen,
 4. bei individuellen Gefährdungsbeurteilungen die relevanten Beschäftigten anwesend und die von ihnen benutzten EMF-Quellen funktionsfähig und verfügbar sind bzw. Zutritt zu diesen gewährt wird und
 5. Foto- bzw. Filmmaterial im Rahmen der Messung für die Dokumentation aufgenommen werden darf und welche Auflagen dafür einzuhalten sind.
- (4) Die Messgeräte und -sonden sind vor unzulässigen Witterungseinflüssen (siehe Herstellerangaben) und unzulässiger EMF-Exposition (siehe ebenfalls Herstellerangaben) zu schützen.
- (5) Die Messungen sind bei der betrieblich maximal auftretenden Leistung bzw. den Bedingungen, unter denen die maximale Exposition zu erwarten ist (z. B. mehrere EMF-Quellen), durchzuführen. Ist dies nicht möglich, sind die Messergebnisse entsprechend hochzurechnen.
- (6) Bei Anlagen mit wechselnden Betriebsparametern sind die zu bewertenden Betriebszustände festzulegen und zu protokollieren. Um den Messaufwand auch hierbei auf das erforderliche Maß zu begrenzen, sind die Parameter für eine Messung auszuwählen, die die höchste Expositionssituation für Beschäftigte darstellen.
- (7) Treten am Arbeitsplatz gleichzeitig Felder von mehr als einer relevanten Feldquelle auf, ist Folgendes zu berücksichtigen:
1. Sind die ALS im zu untersuchenden Frequenzbereich gleich, so ist es ausreichend, die resultierenden Feldstärken mit geeigneten breitbandigen Messeinrichtungen (leistungsbezogene Summation) direkt zu messen.
 2. Arbeiten die Feldquellen in Frequenzbereichen mit unterschiedlichen ALS, so sind frequenzselektive oder frequenzgangbewertende Messsysteme breitbandigen Geräten ohne Frequenzbewertung vorzuziehen. Werden dennoch breitbandige Geräte ohne Frequenzbewertung verwendet, so ist
 - a) entweder bei Einzelbetrieb der Feldquellen zu messen (sequentielle Messung mit anschließender leistungsbezogener Summation) oder
 - b) die niedrigste ALS im betrachteten Frequenzspektrum zugrunde zu legen.
- Hinweis: Im HF-Bereich erfolgt die Summation leistungsbezogen, d. h. quadratisch. Im NF-Bereich hingegen linear.
- (8) Die relevanten einzuhaltenden ALS und ggf. EGW sind im Vorfeld zur Messung zu bestimmen, um geeignete Messgeräte auszuwählen.
- (9) Der Eigenschutz des Messpersonals ist sicherzustellen. Dazu gehört, dass die erforderliche persönliche Schutzausrüstung für den Eigenschutz (z. B. Helm, Schutzbrille, Gehörschutz, Sicherheitsschuhe, wetterfeste Kleidung) verfügbar und funktionstüchtig ist und bei Bedarf getragen wird.

(10) Werden EMF im Übergangsbereich (Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.44) gemessen, müssen zusätzlich die Anforderungen an Messungen nach TREMF NF beachtet werden.

4.1.2 Messgeräte

(1) Im Hochfrequenzbereich existieren zwei grundlegende Messverfahren:

1. Die breitbandige Erfassung und leistungsbezogene Summation aller vorhandenen Felder über einen definierten Frequenzbereich, wobei (je nach Messgerätetyp) zusätzlich vor der Summation eine Bewertung mit dem für die jeweilige Frequenz relevanten Grenzwert erfolgen kann.
2. Die frequenz aufgelöste (auch als frequenzselektiv bezeichnete) Erfassung der Feldstärken aller Einzelmissionen, sodass eine Bewertung mit den individuellen Grenzwerten im Rahmen einer weitergehenden Auswertung möglich wird.
Im Mobilfunkbereich existiert noch die „codeselektive“ Erfassung von Feldern von UMTS-, LTE- und 5-G-Basisstationen (als Erweiterung der frequenzselektiven Messtechnik), da hier eine frequenzselektive Messung im Allgemeinen nicht ausreichend ist.

(2) Messgeräte und -sonden müssen dem Stand der Technik entsprechen und unter den vor Ort bei der Messung herrschenden Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte, Druck, Staub etc.) mindestens folgende Anforderungen erfüllen:

1. einwandfreie Funktion,
2. Stand der Technik,
3. verfügt über eine gültige Kalibrierung (z. B. nach Herstellerstandard),
Hinweis: Es wird empfohlen, das Kalibrierintervall anhand von Herstellerempfehlungen oder situationsbedingt (Gerät wird im Labor oder Außeneinsatz verwendet) festzulegen.
4. Einrichtung je nach Frequenzbereich so, dass sie in der Lage sind, die elektrische Feldstärke E , die magnetische Feldstärke H , die magnetische Flussdichte B , die Leistungsdichte S , Frequenz f , Kontaktströme I_K oder den in Gliedmaßen induzierten Strom I_G zu messen und
5. ausreichend hohe Sensitivität und einen ausreichend großen Messbereich umfassen, sodass eine Entscheidung über die Einhaltung oder Überschreitung von ALS und vereinzelten EGW möglich ist.

Hinweis: Für weitere Anforderungen an Messgeräte siehe DIN EN 50413.

(3) Eine räumliche Mittelung über das gesamte vom Körper von Beschäftigten eingenommene Raumvolumen oder den gesamten von Beschäftigten eingenommenen Arbeitsbereich ist nicht zulässig, wenn hierdurch räumliche Maxima in inhomogenen Feldern unterbewertet werden können.

(4) Bei inhomogenen EMF dürfen die räumlichen Maximalwerte nicht die ALS bzw. EGW nach Anhängen 2 und 3 EMFV überschreiten.

(5) Im Frequenzbereich mit $f > 6$ GHz sind gemessene Leistungsdichten über eine Fläche von 20 cm^2 zu mitteln. Die maximale örtliche Leistungsdichte, gemittelt über 1 cm^2 , darf hierbei 1 kW/m^2 nicht überschreiten.

(6) Das Messgerät wird entsprechend Art, Dauer und Ausmaß des EMF (auch Pulse und nicht sinusförmige Signalverläufe) sowie den technischen Bedingungen der EMF-Quelle ausgewählt.

(7) Gegebenenfalls ist es zweckmäßig, mehrere, sich im Messbereich ergänzende Messverfahren bzw. -geräte einzusetzen.

(8) Um den korrekten Betrag des Feldvektors zu ermitteln, sind isotrope Feldsonden zu verwenden. Falls diese nicht zur Verfügung stehen, ist der korrekte Betrag des Feldvektors beim Einsatz von einachsigen Sonden durch geeignetes Ausrichten und Verwendung der Max-Hold-Funktion im Messgerät zu ermitteln.

Hinweis: Die Feldmessung mit einer einachsigen Sonde und Ausrichtung auf Maximalwert führt bei zirkular oder elliptisch polarisierten Wellenfeldern zu einer Unterbewertung.

(9) Die Messung von Kontaktströmen oder den in Gliedmaßen induzierten Strömen erfolgt durch Kontaktstrommessgeräte oder Stromzangen.

4.1.3 Durchführung

(1) Bei der Durchführung der Messung ist darauf zu achten, dass an den Messungen beteiligte Personen nicht gefährdet werden. Bei hohen Expositionen ist eine Schädigung von Personen, die die Messung durchführen, schon nach kurzer Zeit möglich. Daher ist für das Messpersonal eine separate Abschätzung der Gefährdung durchzuführen und entsprechende Maßnahmen sind zu ergreifen (Eigenschutz z. B. durch Leistungsabsenkung, zeitliche Aufenthaltsbeschränkung, sofern am Markt verfügbar: persönliche Schutzausrüstungen).

Hinweis: Zur Zeit der Drucklegung und Veröffentlichung dieser TREMF war am Markt keine PSA zum Schutz vor Gefährdungen durch EMF verfügbar.

(2) Die Anforderungen an die Durchführung der Messungen der verschiedenen Arten von EMF, von der Leistungsdichte, von Kontaktströmen und von dem in den Gliedmaßen induzierten Strom nach DIN EN 50413 oder EMF-Leitfaden des AKNIR (Abschnitt 6.4.5) sind zu berücksichtigen.

(3) Die einwandfreie Funktion der Messausrüstung wird vor und nach der Messung überprüft und sichergestellt. Bei Messungen über mehrere Stunden oder in Bereichen unterschiedlich hoher Exposition wird die einwandfreie Funktion der Messausrüstung auch zwischen den einzelnen Messungen überprüft.

(4) Die Messung muss repräsentativ für die Exposition der Beschäftigten sein. In Abhängigkeit der Expositionssituation sind Einzelmessungen an verschiedenen Messorten und/oder unterschiedlichen Auslastungen der EMF-Quelle durchzuführen.

Hinweis: Es sind ggf. verschiedene Messpunkte an einem Messort notwendig, um die EMF-Exposition repräsentativ zu ermitteln. In Abhängigkeit von den Arbeitspositionen empfiehlt es sich, Messpunkte in Relation zu Kopf-, Brust-, Becken- und/oder Beinhöhen bzw. der Position der Hände festzulegen.

(5) Die räumliche Lage des Messortes wird eindeutig und nachvollziehbar angegeben.

(6) Wird bei Messungen an Arbeitsplätzen ein Mindestabstand zwischen Messwertaufnehmer und Gegenständen in dessen Umgebung gefordert (siehe Herstellerangaben zum Messwertaufnehmer oder in Messvorschriften einschlägiger Produktnormen), muss sichergestellt sein, dass die Aufenthaltsbereiche bei der Ausübung von Tätigkeiten durch Beschäftigte nicht innerhalb dieser Mindestabstände liegen.

(7) Sicherheitsvorschriften und/oder -abstände sind bei Messungen einzuhalten.

(8) Gemessen wird grundsätzlich am unbesetzten Arbeitsplatz. Die Beurteilung der Messergebnisse erfolgt auf der Basis der maximalen, in der gedachten Körperachse des Beschäftigten gemessenen Werte der Feldstärke oder Leistungsdichte am Messort.

(9) Die das Messgerät bedienende Person achtet darauf, dass sie sich während der Messung nicht zwischen Feldquelle und Feldsonde bzw. Messantenne befindet (Verringerung der Messwerte durch Abschirmung) und sich alle für die Messung benötigten Personen aus dem Bereich des Messortes entfernen. Anwesende Personen sind in der Lage, insbesondere beim elektrischen Feld, die Messwerte erheblich zu beeinflussen.

(10) Die Messdurchführung (z. B. alle relevanten Betriebsparameter) ist so zu protokollieren, dass sie bei Wiederholungsmessungen reproduzierbar ist. Die Anfertigung von Skizzen, oder falls möglich Fotos, unterstützen die Dokumentation der Expositionssituation.

Hinweis: Ergänzende Besonderheiten zur Durchführung der Expositionsmessungen sind in Anhang 2 Abschnitte A2.1 und A2.2 aufgeführt.

4.1.4 Messprotokoll

Ein während der Messung aufgenommenes Messprotokoll fasst die Randbedingungen und Messwerte zusammen, sodass die Messbedingungen auch später noch nachvollziehbar sind. Sämtliche Informationen, die für reproduzierbare Messungen erforderlich sind, müssen hier festgehalten werden.

Hinweis: Eine Übersicht über den Inhalt des Messprotokolls ist in Anhang 2 Abschnitt A2.3 vorgehalten.

4.1.5 Auswertung

(1) Die Auswertung der Messergebnisse anhand des Messprotokolls ist so durchzuführen, dass die Endergebnisse in den physikalischen Größen und Einheiten der zugrunde zu legenden ALS oder EGW vorliegen.

(2) Neben dem Messergebnis selbst ist auch die Messunsicherheit (siehe Abschnitt 5 Absatz 2) in die Betrachtung mit einzubeziehen. Die Messunsicherheit muss dabei für die bei der Messung relevanten Frequenzen bekannt sein. Sind die frequenzspezifischen Messunsicherheiten nicht bekannt, muss die höchste Messunsicherheit im für die Messung relevanten Frequenzbereich verwendet werden.

4.1.6 Messbericht

Der Messbericht beinhaltet das Messprotokoll sowie die Auswertung und Beurteilung der Messwerte. Darüber hinaus enthält der Messbericht weiterführende Angaben zur Messung, wie Ziel der Messung, Annahmen/Abschätzungen oder Eigenschaften eines Implantats.

Hinweis: Eine Übersicht über den Inhalt des Messberichts ist in Anhang 2 Abschnitt A2.4 vorgehalten.

4.2 Berechnungsmethoden und Simulationsrechnungen

(1) Ist der Nachweis der Einhaltung von ALS oder EGW anhand von Messungen oder Herstellerangaben nicht zu erbringen, besteht die Möglichkeit, numerische oder analytische Berechnungsmethoden heranzuziehen.

(2) Bei der Anwendung solcher Verfahren sind im Allgemeinen besondere Fachkenntnisse und in der Regel eine dem Stand der Technik entsprechende Simulations- bzw. Berechnungssoftware notwendig.

Hinweis: Für weitere Informationen siehe Anhang 3.

(3) Es ist auch die Unsicherheit im Sinne von Abschnitt 4.1.5 Absatz 2 zu berücksichtigen.

5 Mess- und Berechnungsunsicherheit

- (1) Die Angabe eines gemessenen bzw. berechneten Wertes allein ohne Aussagen zur erweiterten Unsicherheit ist nicht ausreichend, da keine Information über die Qualität der Messung vorliegt.
- (2) Zur Berücksichtigung der Mess- und Berechnungsunsicherheit ist der additive Ansatz zu wählen:

$$X + U \leq BW$$

Gl. 5.1

mit

X Mess- oder Berechnungswert

U erweiterte Unsicherheit

BW Bewertungswert

Hinweis: Für weitere Informationen siehe Anhang 4.

6 Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen

- (1) Die EGW und ALS für Expositionen von Beschäftigten an Arbeitsplätzen gegenüber EMF sind in Anhang 1 dieser TREMF aufgeführt.
- (2) Erfolgt die Bewertung der Exposition auf Basis des Expositionszonenkonzepts (siehe Teil 1 Abschnitt 4), gilt Anhang 1 Abschnitt A1.2.

7 Bewertung der Exposition

7.1 Allgemeines

- (1) Die Einhaltung der ALS oder EGW nach Anhängen 2 und 3 EMFV gilt als nachgewiesen, wenn das Mess- oder Berechnungsergebnis zuzüglich der frequenzspezifischen Gesamtmess- bzw. -berechnungsunsicherheit unter dem nach Anhängen 2 und 3 EMFV zulässigen Wert liegt.
- (2) Liegt keine Einhaltung der ALS oder EGW vor, sind Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdung durch EMF (siehe Teil 3) unverzüglich zu ergreifen. Die Wirksamkeit der Maßnahmen ist zu überprüfen und zu dokumentieren. Eine Überprüfung kann je nach Maßnahme z. B. durch Berechnung oder eine erneute Messung vorgenommen werden.
- (3) Werden die ALS oder die EGW für sensorische Wirkungen überschritten, sind die besonderen Festlegungen zum Schutz vor Gefährdungen durch EMF nach §§ 15 – 18 EMFV anzuwenden (siehe Teil 3).
- (4) Bei der Bewertung der Exposition sind alle Faktoren zu berücksichtigen, die zur Exposition beitragen oder die für die Bewertung von Bedeutung sind.

Hinweis: Für besonders schutzbedürftige Beschäftigte sind die Erkenntnisse aus der arbeitsmedizinischen Vorsorge heranzuziehen, sofern vorliegend.

- (5) Die Ergebnisse von breitbandigen Messungen (entspricht der Gesamtfeldstärke) werden aufgrund der fehlenden spektralen Auflösung mit der kleinsten ALS des bei der Messung betrachteten Frequenzbereichs bewertet.

7.2 Eine EMF-Quelle mit unterschiedlichen Frequenzen

(1) Zur Ermittlung der Gesamtexposition sind bei einer EMF-Quelle mit unterschiedlichen Frequenzen sämtliche relevanten Frequenzen zu berücksichtigen. Für die nicht thermischen Wirkungen wird dabei der Frequenzbereich mit $0 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$ betrachtet (siehe TREMF NF Teil 2 Abschnitt 7), für die thermischen Wirkungen der Frequenzbereich mit $100 \text{ kHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$.

(2) Im Sinne einer konservativen Abschätzung ist es möglich, alle durch die EMF-Quelle hervorgerufenen elektrischen und magnetischen Feldstärken, Leistungsdichten oder spezifischen Absorptionsraten innerhalb dieses Frequenzbereichs unter Berücksichtigung der Mess- und/oder Berechnungsunsicherheit zunächst auf die jeweilige zu prüfende ALS zu beziehen.

Hinweis: Dies erfolgt z. B. mittels Expositionsquotient EQ (siehe Gleichung 7.1). Die einzelnen EQ werden dann zu einem Gesamtexpositionsquotienten (TEQ) aufaddiert (siehe Gleichungen 7.1 bis 7.7). Ist der Gesamtexpositionsquotient $\text{TEQ} \leq 1$, wird die geprüfte Auslöseschwelle eingehalten. Ist dies nicht der Fall, kommt § 3 Absatz 3 EMFV zur Geltung, d. h. es muss eine detaillierte Expositionsbewertung durchgeführt werden und ggf. müssen erforderliche Maßnahmen getroffen werden (siehe Teil 3).

$$\text{TEQ} = \sum_{i>100 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{\text{ALS},i}} \right)^2 \leq 1, \text{ mit } \text{EQ} = \frac{E_i}{E_{\text{ALS},i}} \quad \text{GI. 7.1}$$

$$\text{TEQ} = \sum_{i>100 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_i}{H_{\text{ALS},i}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{GI. 7.2}$$

$$\text{TEQ} = \sum_{i>10 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \frac{S_i}{S_{\text{ALS},i}} \leq 1 \quad \text{GI. 7.3}$$

$$\text{TEQ} = \sum_{i>100 \text{ kHz}}^{6 \text{ GHz}} \frac{\text{SAR}_i}{\text{SAR}_{\text{EGW}}} \leq 1 \quad \text{GI. 7.4}$$

$$\text{TEQ} = \sum_{i>6 \text{ GHz}}^{300 \text{ GHz}} \frac{S_i}{S_{\text{EGW}}} \leq 1 \quad \text{GI. 7.5}$$

$$\text{TEQ} = \sum_{i>100 \text{ kHz}}^{6 \text{ GHz}} \frac{\text{SAR}_i}{\text{SAR}_{\text{EGW}}} + \sum_{i>100 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{\text{ALS},i}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{GI. 7.6}$$

$$\text{TEQ} = \sum_{i>100 \text{ kHz}}^{6 \text{ GHz}} \frac{\text{SAR}_i}{\text{SAR}_{\text{EGW}}} + \sum_{i>100 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_i}{H_{\text{ALS},i}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{GI. 7.7}$$

mit

E_i Effektivwert (thermische Wirkungen) der elektrischen Feldstärke von Quelle Q bei der Frequenz i

$E_{\text{ALS},i}$ die obere oder untere ALS für das elektrische Feld bei Frequenz i

H_i Effektivwert (thermische Wirkungen) der magnetischen Feldstärke von Quelle Q bei der Frequenz i

$H_{\text{ALS},i}$ die ALS für das magnetische Feld bei Frequenz i

S_i	(Mittel-)Wert der Leistungsdichte von Quelle Q bei der Frequenz i (thermische Wirkungen)
$S_{ALS,i}$	die ALS für die Leistungsdichte bei Frequenz i
SAR_i	Wert der spezifischen Absorptionsrate von Quelle Q (thermische Wirkungen)
SAR_{EGW}	der EGW für die spezifische Absorptionsrate
S_{EGW}	der EGW für die Leistungsdichte

7.3 Mehrere EMF-Quellen mit gleicher Frequenz

(1) Zur Ermittlung der Gesamtexposition müssen bei mehreren EMF-Quellen mit gleicher Frequenz alle EMF-Quellen berücksichtigt werden. Hierbei ist zu prüfen, ob auch bei voneinander unabhängigen Quellen die Emissionen in ihrer Wirkung additiv sind, z. B. in Abhängigkeit der Arbeitsabläufe.

(2) Im Sinne einer konservativen Abschätzung ist es möglich, alle durch die Quellen hervorgerufenen elektrischen und magnetischen Feldstärken bei dieser Frequenz unter Berücksichtigung der Mess- und/oder Berechnungsunsicherheit zunächst auf die zu prüfende ALS zu beziehen.

Hinweis 1: Dies erfolgt z. B. mittels Expositionsquotient EQ. Die einzelnen EQ werden dann zu einem Gesamtexpositionsquotienten (TEQ) aufaddiert (siehe Gleichungen 7.8 bis 7.13). Ist der $TEQ \leq 1$, so wird die der Prüfung zugrunde gelegte ALS eingehalten. Andernfalls kommt § 3 Absatz 3 EMFV zur Geltung, d. h., es muss eine detaillierte Expositionsbewertung durchgeführt werden und ggf. müssen entsprechende Maßnahmen getroffen werden (siehe Teil 3).

Hinweis 2: Die mit diesen Gleichungen ermittelten Gesamtexpositionen gelten für den Fall, dass alle Einzelkomponenten dieselbe Phase besitzen. Die zusätzliche Berücksichtigung der relativen Phasenlage führt zu einer genaueren Abschätzung der Gesamtexposition. Je nach tatsächlicher Phasenlage der Einzelkomponenten zueinander kann die unter Berücksichtigung der Phasenlage ermittelte Gesamtexposition deutlich geringer sein.

$$TEQ = \sum_{Qx=1}^n EQ_{Qx} = \sum_{Qx=1}^n \left(\frac{E_{i,Qx}}{E_{ALS,i}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{Gl. 7.8}$$

$$TEQ = \sum_{Qx=1}^n EQ_{Qx} = \sum_{Qx=1}^n \left(\frac{H_{i,Qx}}{H_{ALS,i}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{Gl. 7.9}$$

$$TEQ = \sum_{Qx=1}^n EQ_{Qx} = \sum_{Qx=1}^n \frac{S_{i,Qx}}{S_{ALS,i}} \leq 1 \quad \text{Gl. 7.10}$$

$$TEQ = \sum_{Qx=1}^n EQ_{Qx} = \sum_{Qx=1}^n \frac{SAR_{Qx}}{SAR_{EGW}} \leq 1 \quad \text{Gl. 7.11}$$

$$TEQ = \sum_{Qx=1}^n EQ_{Qx} = \sum_{Qx=1}^n \frac{S_{i,Qx}}{S_{EGW}} \leq 1 \quad \text{Gl. 7.12}$$

$$TEQ = \sum_{Qx=1}^n \frac{SAR_{Qx}}{SAR_{EGW}} + \sum_{Qx=1}^n \frac{S_{i,Qx}}{S_{ALS,i}} \leq 1 \quad \text{Gl. 7.13}$$

mit

TEQ	Gesamtexpositionsquotient
EQ _{Qx}	Expositionsquotient von Quelle Q _x
E _{i,Qx}	Effektivwert (thermische Wirkungen) der elektrischen Feldstärke von Quelle Q _x bei der Frequenz i
E _{ALS,i}	die ALS für thermische Wirkungen für das elektrische Feld bei Frequenz i
H _{i,Qx}	Effektivwert (thermische Wirkungen) der magnetischen Feldstärke von Quelle Q _x bei der Frequenz i
H _{ALS,i}	die ALS für thermische Wirkungen für das magnetische Feld bei Frequenz i
S _{i,Qx}	(Mittel-)Wert der Leistungsdichte von Quelle Q _x bei der Frequenz i (thermische Wirkungen)
S _{ALS,i}	die ALS für die Leistungsdichte bei Frequenz i
SAR _{Qx}	Wert der spezifischen Absorptionsrate von Quelle Q _x (thermische Wirkungen)
SAR _{EGW}	der EGW für die spezifische Absorptionsrate
S _{EGW}	der EGW für die Leistungsdichte

7.4 Mehrere EMF-Quellen mit unterschiedlichen Frequenzen

(1) Zur Ermittlung der Gesamtexposition müssen bei mehreren EMF-Quellen mit unterschiedlichen Frequenzen sämtliche relevanten Frequenzen berücksichtigt werden. Für die nichtthermischen Wirkungen wird dabei der Frequenzbereich mit $100 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$ betrachtet (siehe TREMF NF Teil 2 Abschnitt 7), für die thermischen Wirkungen der Frequenzbereich mit $100 \text{ kHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$, siehe Gleichungen 7.14 bis 7.19.

(2) Im Sinne einer konservativen Abschätzung ist es möglich, alle durch die Quellen hervorgerufenen elektrischen und magnetischen Feldstärken, Leistungsdichten oder spezifischen Absorptionsraten innerhalb dieser Frequenz unter Berücksichtigung der Mess- und/oder Berechnungsunsicherheit zunächst auf die zu prüfende ALS oder EGW zu beziehen.

Hinweis: Dies erfolgt z. B. mittels Expositionsquotient EQ. Die einzelnen EQ werden dann zu einem Gesamtexpositionsquotienten (TEQ) aufaddiert (siehe Gleichungen 7.14 bis 7.19). Ist der $TEQ \leq 1$, so wird die der Prüfung zugrunde gelegte ALS oder der EGW eingehalten. Andernfalls kommt § 3 Absatz 3 EMFV zur Geltung, d. h., es muss eine detaillierte Expositionsbeurteilung durchgeführt werden und ggf. müssen entsprechende Maßnahmen getroffen werden (siehe Teil 3).

$$\sum_{Qx=1}^n \sum_{i>100\text{kHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_{i,Qx}}{E_{ALS,i}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{Gl. 7.14}$$

$$\sum_{Qx=1}^n \sum_{i>100\text{kHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_{i,Qx}}{H_{ALS,i}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{Gl. 7.15}$$

$$\sum_{Qx=1}^n \sum_{i>10\text{MHz}}^{300 \text{ GHz}} \frac{S_{i,Qx}}{S_{ALS,i}} \leq 1 \quad \text{Gl. 7.16}$$

$$\sum_{Qx=1}^n \sum_{i>100\text{kHz}}^{6\text{ GHz}} \frac{\text{SAR}_{Qx}}{\text{SAR}_{\text{EGW}}} \leq 1 \quad \text{Gl. 7.17}$$

$$\sum_{Qx=1}^n \sum_{i>6\text{ GHz}}^{300\text{ GHz}} \frac{S_{i,Qx}}{S_{\text{EGW}}} \leq 1 \quad \text{Gl. 7.18}$$

$$\sum_{Qx=1}^n \sum_{i>100\text{kHz}}^{6\text{ GHz}} \frac{\text{SAR}_{Qx}}{\text{SAR}_{\text{EGW}}} + \sum_{Qx=1}^n \sum_{i>10\text{ MHz}}^{300\text{ GHz}} \frac{S_{i,Qx}}{S_{\text{ALS},i}} \leq 1 \quad \text{Gl. 7.19}$$

mit

$E_{i,Qx}$	Effektivwert (thermische Wirkungen) der elektrischen Feldstärke von Quelle Qx bei der Frequenz i
$E_{\text{ALS},i}$	die ALS für thermische Wirkungen für das elektrische Feld bei Frequenz i
$H_{i,Qx}$	Effektivwert (thermische Wirkungen) der magnetischen Feldstärke von Quelle Qx bei der Frequenz i
$H_{\text{ALS},i}$	die ALS für das magnetische Feld bei Frequenz i
$S_{i,Qx}$	(Mittel-)Wert der Leistungsdichte von Quelle Qx bei der Frequenz i (thermische Wirkungen)
$S_{\text{ALS},i}$	die ALS für die Leistungsdichte bei Frequenz i
SAR_{Qx}	Wert der spezifischen Absorptionsrate von Quelle Qx (thermische Wirkungen)
SAR_{EGW}	der EGW für die spezifische Absorptionsrate
S_{EGW}	der EGW für die Leistungsdichte

8 Verfahren für die Bewertung von EMF-Quellen mit nicht konstanter Leistungsabgabe

(1) Zur Bewertung von EMF mit nicht konstanter Leistungsabgabe gibt es je nach Frequenzbereich und Art des Feldes unterschiedliche Methoden. Im Bereich der nichtthermischen Wirkungen bis $f \leq 10\text{ MHz}$ werden Verfahren im Zeitbereich verwendet (siehe TREMF NF Teil 2 Abschnitt 8).

(2) Für den Frequenzbereich $100\text{ kHz} \leq f \leq 300\text{ GHz}$ sind die zur Bewertung der thermischen Wirkungen zugehörigen ALS und EGW in Anhang 3 EMFV aufgeführt. Die Exposition ist über ein repräsentatives Zeitintervall leistungsbezogen zu mitteln:

- für $f < 10\text{ GHz}$ über ein repräsentatives Sechs-Minuten-Intervall,
- für $f \geq 10\text{ GHz}$ über ein repräsentatives Zeitintervall von $\frac{68}{f^{1,05}[\text{GHz}]}$ Minuten.

Für Rechenbeispiele siehe Anhang 6.

Hinweis: Hintergrund für dieses Zeitintervall ist, dass der menschliche Körper in der Lage ist, kurzzeitige Erwärmungen mittels Thermoregulation auszugleichen. Für Zeiten mit $t < 6\text{ min}$ ist es somit auch möglich, Expositionen zuzulassen, die bei kontinuierlicher Exposition die ALS nach Anhang 1 Tabelle A1.21 oder EGW nach Anhang 1 Tabellen A1.18 und A1.19 überschreiten würden. Für die Praxis bedeutet das eine Zerlegung des EMF mit nicht konstanter Leistungsabgabe in Zeitintervalle t_i , in denen das EMF als konstant angesehen werden kann. Die Feldstärken E_i und H_i bzw. die Leistungsdichte S_i werden gemäß folgender Gleichungen für jedes einzelne Zeitintervall t_i summiert:

$$\sum E_{i,\text{eff}}^2 \cdot t_i \quad \text{Gl. 8.1}$$

$$\sum H_{i,\text{eff}}^2 \cdot t_i \quad \text{Gl. 8.2}$$

$$\sum S_{i,\text{eff}} \cdot t_i \quad \text{Gl. 8.3}$$

(3) Eine Exposition ist zulässig, wenn:

1. der über das frequenzabhängige Zeitintervall ermittelte Mittelwert zzgl. der Unsicherheit die ALS nach Anhang 1 Tabelle A1.23 unterschreitet und
2. die ermittelten Werte der elektrischen Feldstärke E zzgl. der Unsicherheit die Spitzenwerte nach Anhang 1 Tabelle A1.24 unterschreiten.

Hinweis 1: Es erfolgt eine doppeltlogarithmische Interpolation zwischen dem Faktor 1,5 und 32 nach Anhang 1 Tabelle A1.21 Anmerkung 4 für:

- a) $f = 100 \text{ kHz}$ mit $E_{\text{max}} = 1,5 \cdot E_{\text{eff}}$,
- b) $100 \text{ kHz} < f < 10 \text{ MHz}$ mit $E_{\text{max}} = f^{0,665} \text{ Hz} / 1409,3 \cdot E_{\text{eff}}$ und
- c) $f = 10 \text{ MHz}$ mit $E_{\text{max}} = 32 \cdot E_{\text{eff}}$.

Hinweis 2: Eine Exposition ist zulässig, wenn die ermittelten Werte der magnetischen Feldstärke H zuzüglich der Unsicherheit die Spitzenwerte nach Anhang 1 Tabelle A1.24 unterschreiten.

Die Spitzenwerte der magnetischen Feldstärke H im Frequenzbereich $100 \text{ kHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$ wurden in Tabelle A1.24 ergänzt.

(4) Bei Überschreitung der ALS nach Anhang 1 Tabelle A1.21 können die in § 15 EMFV beschriebenen besonderen Festlegungen angewendet werden (siehe Teil 3).

(5) Ist eine Einhaltung der EGW oder ALS bei EMF mit nicht konstanter Leistungsabgabe nur auf Basis einer Aufenthaltsdauer der Beschäftigten mit $t \leq 6 \text{ min}$ möglich, so muss gewährleistet sein, dass sie den betreffenden Expositionsbereich wieder rechtzeitig verlassen oder die unzulässige Exposition auf andere Weise unterbunden wird. Hierbei müssen verschiedene Arbeitsabläufe und Unfallsituationen berücksichtigt werden.

Hinweis: Es muss sichergestellt sein, dass im Falle eines Unfalls (z. B. Hängenbleiben an einer Leiter) die maximal zulässige Aufenthaltsdauer in dem Bereich durch geeignete Maßnahmen, wie z. B. Abschaltung der Sendeanlage durch eine zweite Person, in jedem Fall gewährleistet ist. Hierfür kann eine Vorbereitung organisatorischer Maßnahmen erforderlich sein. Geeignete Maßnahmen sind in der Gefährdungsbeurteilung zu ermitteln.

(6) Sind aufgrund der Eigenschaften der auftretenden EMF im Frequenzbereich von $100 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$ nichtthermische Wirkungen nicht auszuschließen, erfolgt deren Bewertung nach TREMF NF Teil 2 Abschnitt 8.

Hinweis: Für Informationen zur Bewertung der Anwendungsfälle Radar und OFDM wird auf Anhang 7 verwiesen.

9 Verfahren zum Nachweis der Einhaltung von Expositionsgrenzwerten

Der Nachweis der Einhaltung von EGW gilt als erbracht, wenn der ermittelte Wert zuzüglich der Unsicherheit den entsprechenden EGW unterschreitet.

Hinweis 1: Unabhängig vom verwendeten Verfahren ist die Unsicherheit anzugeben und zu berücksichtigen, siehe Abschnitt 5.

Hinweis 2: Im folgenden Abschnitt werden die an die Verfahren zum Nachweis der Einhaltung von EGW gestellten Anforderungen beschrieben.

9.1 Nachweis durch Messung

(1) Für folgende(n) Expositionsgrenzwert(e) kann ein Nachweis zu ihrer Einhaltung durch Messungen am Arbeitsplatz erbracht werden:

1. Expositionsgrenzwert der Leistungsdichte S für gesundheitliche Wirkungen bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich $6 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$ (nach Anhang 1 Tabelle A1.19),
2. Expositionsgrenzwert der lokalen spezifischen Energieabsorption SA für sensorische Wirkungen von gepulsten EMF im Frequenzbereich $0,3 \text{ GHz} \leq f \leq 6 \text{ GHz}$ (Mikrowellenhören) (nach Anhang 1 Tabelle A1.20).

(2) Es gelten die Anforderungen an die Durchführung von Messungen (siehe Abschnitte 3 und 4), Messunsicherheit (siehe Abschnitt 5), Bewertung (siehe Abschnitt 7) und Dokumentation (siehe Abschnitt 10).

Hinweis: Für weitere Informationen siehe Anhang 5.

9.2 Nachweis durch Berechnung

(1) Es ist möglich, den Nachweis zur Einhaltung von EGW durch Berechnung für alle EGW zu erbringen. Es werden numerische Berechnungs- oder Simulationsmethoden (z. B. Finite Elemente Methode (FEM) oder Finite Differenzen Methode im Zeitbereich (FDTD); siehe Anhang 3) mit hochaufgelösten anatomischen Körpermodellen unter Berücksichtigung der verschiedenen frequenzabhängigen elektrischen Gewebeeigenschaften eingesetzt.

(2) Vereinfachte Berechnungs- oder Simulationsmethoden können verwendet werden, wenn die damit erzielten Ergebnisse mit den Ergebnissen aus Berechnungs- oder Simulationsmethoden aus Absatz 1 vergleichbar sind.

Hinweis: Sind nur unzureichende Daten über das Unsicherheitsbudget (Zusammenfassung der Unsicherheiten) von einfachen Körperrückbildungen (z. B. sphäroidische Modelle) vorhanden, wird empfohlen, diese einfachen Körperrückbildungen nur bis zu einer Ausschöpfung des halben EGW einzusetzen. Oberhalb dieser Grenzwertausschöpfung ist die Verwendung anatomischer Menschmodelle zielführend.

(3) Es gelten die Anforderungen an die Durchführung von Berechnungen (siehe Abschnitte 3 und 4), Messunsicherheit (siehe Abschnitt 5), Bewertung (siehe Abschnitt 7) und Dokumentation (siehe Abschnitt 10).

Hinweis: Für weitere Informationen siehe Anhang 5.

10 Ergebnisdokumentation, Messbericht

(1) Die Ergebnisse aus der Informationsermittlung sowie aller durchgeführten Messungen, Berechnungen, Simulationsrechnungen, Beurteilungen und Bewertungen sind widerspruchsfrei und objektiv in einer Ergebnisdokumentation (z. B. Messbericht) festzuhalten.

(2) Diese muss sämtliche Informationen, die für die Interpretation der Ergebnisse, der Beurteilung und der Bewertung sowie für die Nachvollziehbarkeit der angewandten Verfahren erforderlich sind, enthalten.

Hinweis: Eine Übersicht über den Inhalt des Messberichts ist in Anhang 2 Abschnitt A2.4 vorgehalten.

(3) Nach § 3 Absatz 6 EMFV hat der Arbeitgeber die Ergebnisse aus Messungen, Berechnungen oder Simulationen nach der Erstellung in einer Form aufzubewahren, die eine spätere Einsichtnahme ermöglicht.

(4) Die Ergebnisdokumentation ist Teil der Gefährdungsbeurteilung. Wurde bei der Bewertung festgestellt, dass die oberen ALS bei nichtthermischen oder die ALS bei thermischen Wirkungen nach den Anhängen 2 und 3 EMFV überschritten werden, ist die Ergebnisdokumentation und damit die ermittelten Ergebnisse aus Messungen oder Berechnungen nach § 3 Absatz 6 EMFV mindestens 20 Jahre aufzubewahren.

Hinweis: Ist dies nicht der Fall, wird dennoch empfohlen, die Unterlagen zum Zwecke der Nachvollziehbarkeit abgeleiteter Maßnahmen als Bestandteil der Gefährdungsbeurteilung aufzubewahren.

11 Literaturhinweise

11.1 Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln

Nationales Regelwerk

BetrSichV	Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV)
EMFV	Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder (Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – EMFV)
TREMf MR	Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – Magnetresonanzverfahren
TREMf NF	Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – Statische und zeitveränderliche elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich bis 10 MHz

11.2 Normen und Leitfäden

DIN EN 50360	Produktnorm zum Nachweis der Übereinstimmung von schnurlosen Kommunikationsgeräten mit den Basisgrenzwerten und Expositionsgrenzwerten für die Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 300 MHz bis 6 GHz: Geräte, die in enger Nachbarschaft zum Ohr benutzt werden; Deutsche Fassung EN 50360:2017
DIN EN 50413:2009	Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)
DIN EN 62209-1	Messverfahren für die Beurteilung der spezifischen Absorptionsrate bei der Exposition von Personen gegenüber hochfrequenten Feldern von handgehaltenen und am Körper getragenen schnurlosen Kommunikationsgeräten – Teil 1: Geräte, die in enger Nachbarschaft zum Ohr benutzt werden (Frequenzbereich von 300 MHz bis 6 GHz) (IEC 62209-1:2016); Deutsche Fassung EN 62209-1:2016
DIN EN IEC 62822-1	Elektrische Schweißeinrichtungen – Bewertung in Bezug auf Begrenzungen der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz) – Teil 1: Produktfamiliennorm, Deutsche Fassung EN IEC 62822-1:2018

DIN EN ISO 13849	Normenreihe Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen
DIN EN ISO 17025	Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2017); Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17025:2017
Leitfaden EA-4/02 M	Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen, deutsche Übersetzung, Deutsche Akkreditierungsstelle, 2013
AKNIR EMF-Leitfaden	Leitfaden "Elektromagnetische Felder", FS-2019-180-AKNIR, Fachverband für Strahlenschutz e.V., Köln, November 2019, https://www.fs-ev.org/service/veroeffentlichungen

11.3 Sonstiges

Feynmann, 2007	Feynmann, R. P.: „Feynmann – Vorlesungen über Physik“, Band 2, 2007
----------------	---

Anhang 1: Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen, Expositionszonen

Hinweis: In der EMFV sind die ALS im Niederfrequenzbereich als Spitzenwerte und im Hochfrequenzbereich als Effektivwerte angegeben. Die Effektivwerte gelten ausschließlich für sinusförmige Signalformen einer Frequenz. Eine Umrechnung des Spitzenwertes in einen Effektivwert ist grundsätzlich nicht möglich; siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.8 für weitere Informationen.

A1.1 Überblick über die anzuwendenden Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen

Im Folgenden wird ein Überblick gegeben, welche ALS und EGW für eine Bewertung der Exposition gegenüber EMF heranzuziehen sind. Die detaillierten Werte sind in den folgenden Abschnitten in Tabellenform bereitgestellt.

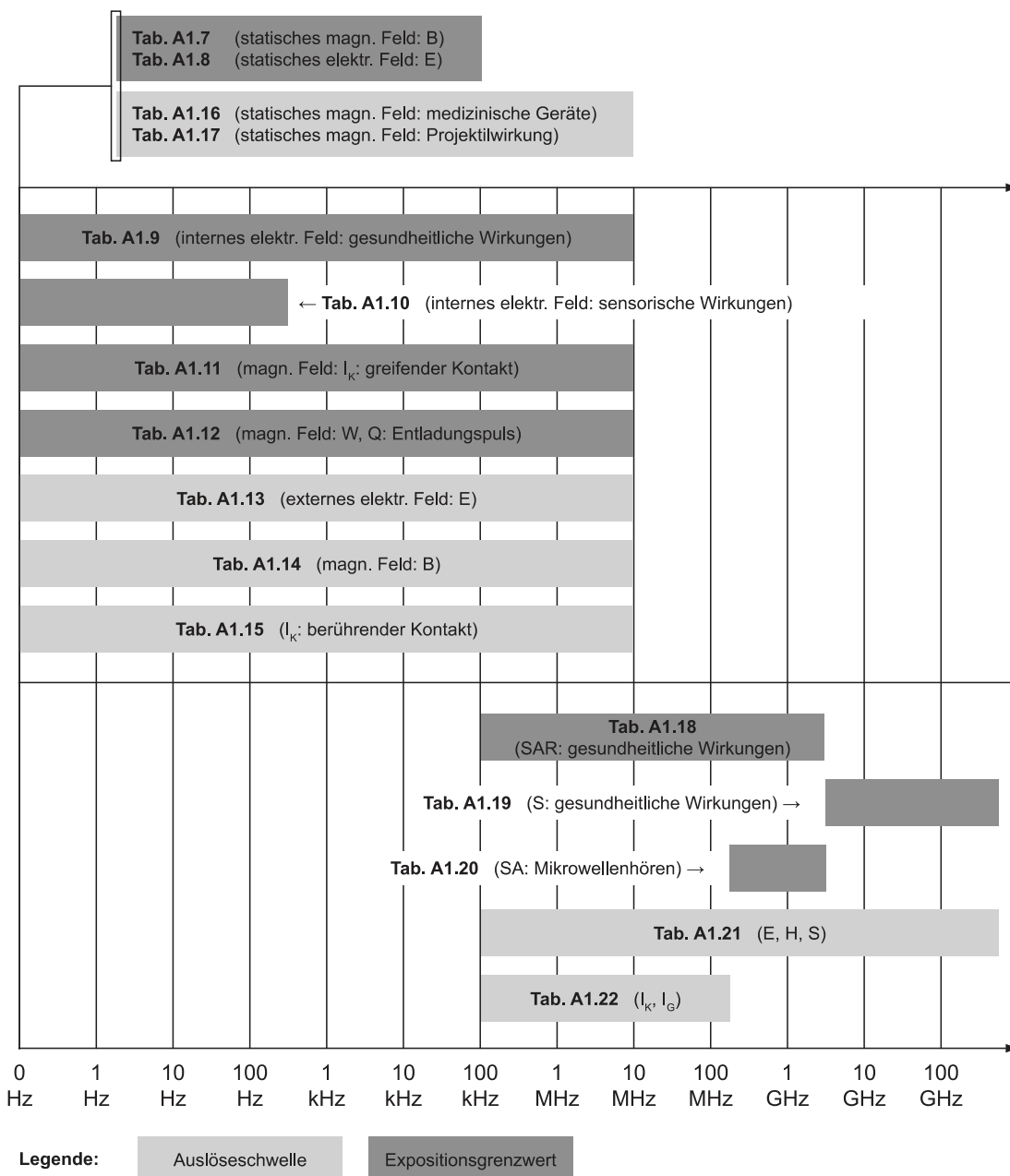


Abb. A1.1 Übersicht über die Gültigkeitsbereiche der Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerte in Abhängigkeit von der Frequenz

A1.2 Expositionszonen

A1.2.1 Expositionszonen für statische Felder

Tab. A1.1 Expositionszonen für statische elektrische Felder

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen elektrischen Feldstärke \hat{E}_e $\left(\frac{V}{m}\right)$
	Expositionszone 0
0 Hz	$2,82 \cdot 10^4$

Anmerkung 1: Spitzenwerte der externen elektrischen Feldstärke sind als obere Grenze der jeweiligen Zone angegeben.

Anmerkung 2: Die Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber elektrischen Feldern stellen die gemessenen oder berechneten räumlichen Maximalwerte am Arbeitsplatz von Beschäftigten dar. Diese Anmerkung bezieht sich auf die Bewertung der Messergebnisse an unterschiedlichen räumlichen Messorten eines Arbeitsplatzes.

Anmerkung 3: Zur Vereinfachung der im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 EMFV durchzuführenden Bewertung der Exposition können Mess- oder Berechnungsverfahren mit definierter räumlicher Mittelung nach dem Stand der Technik angewendet werden. Diese Anmerkung bezieht sich auf die Messtechnik oder das Messverfahren für ein Messergebnis an einem bestimmten Messort.

Tab. A1.2 Expositionszonen für statische magnetische Felder

Frequenzbereich	Spitzenwert der magnetischen Flussdichte \hat{B} (T)		
	Expositionszone 0	Expositionszone 1	Expositionszone 3
0 Hz	$0,5 \cdot 10^{-3}$	2	8

Anmerkung 1: Spitzenwerte der magnetischen Flussdichte sind als obere Grenze der jeweiligen Zone angegeben.

Anmerkung 2: Die Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber magnetischen Feldern stellen die gemessenen oder berechneten räumlichen Maximalwerte am Arbeitsplatz von Beschäftigten dar. Diese Anmerkung bezieht sich auf die Bewertung der Messergebnisse an unterschiedlichen räumlichen Messorten eines Arbeitsplatzes.

Anmerkung 3: Zur Vereinfachung der im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 EMFV durchzuführenden Bewertung der Exposition können Mess- oder Berechnungsverfahren mit definierter räumlicher Mittelung nach dem Stand der Technik angewendet werden. Diese Anmerkung bezieht sich auf die Messtechnik oder das Messverfahren für ein Messergebnis an einem bestimmten Messort.

A1.2.2 Expositionszonen für zeitveränderliche elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich bis 10 MHz

Tab. A1.3 Expositionszonen für elektrische Felder im Frequenzbereich bis 10 MHz

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen elektrischen Feldstärke \hat{E}_e $\left(\frac{V}{m}\right)$		
	Expositionszone 0	Expositionszone 1	Expositionszone 2
$0 \text{ Hz} < f \leq 15,9 \text{ Hz}$	$2,82 \cdot 10^4$	n. a.	n. a.
$15,9 \text{ Hz} < f < 25 \text{ Hz}$	$4,5 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{f}$	$2,82 \cdot 10^4$	n. a.
$25 \text{ Hz} \leq f < 50 \text{ Hz}$	$4,5 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{f}$	$7,07 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{f}$	$2,82 \cdot 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1 \text{ kHz}$	$4,5 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{f}$	$7,07 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{f}$	$1,41 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$
$1 \text{ kHz} \leq f < 1,2534 \text{ kHz}$	$450 \cdot 10^{-3} \cdot f$	$7,07 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{f}$	$1,41 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$
$1,2534 \text{ kHz} \leq f < 1,635 \text{ kHz}$	$7,07 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{f}$	n. a.	$1,41 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$
$1,635 \text{ kHz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$7,07 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{f}$	n. a.	862
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 1,007 \text{ MHz}$	236	n. a.	862
$1,007 \text{ MHz} < f \leq 3,68 \text{ MHz}$	236	n. a.	$868 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$
$3,68 \text{ MHz} < f \leq 10 \text{ MHz}$	$868 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$	n. a.	n. a.

n. a.: nicht anwendbar

Anmerkung 1: Spitzenwerte der externen elektrischen Feldstärke sind als obere Grenze der jeweiligen Zone angegeben, f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung 2: Die Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber elektrischen Feldern stellen die gemessenen oder berechneten räumlichen Maximalwerte am Arbeitsplatz von Beschäftigten dar. Diese Anmerkung bezieht sich auf die Bewertung der Messergebnisse an unterschiedlichen räumlichen Messorten eines Arbeitsplatzes.

Anmerkung 3: Zur Vereinfachung der im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 EMFV durchzuführenden Bewertung der Exposition können Mess- oder Berechnungsverfahren mit definierter räumlicher Mittelung nach dem Stand der Technik angewendet werden. Diese Anmerkung bezieht sich auf die Messtechnik oder das Messverfahren für ein Messergebnis an einem bestimmten Messort.

Tab. A1.4 Expositionszonen für magnetische Felder im Frequenzbereich bis 10 MHz

Frequenzbereich	Spitzenwert der magnetischen Flussdichte \hat{B} (T)			
	Expositionszone 0	Expositionszone 1	Expositionszone 2	Expositionszone 3
0 Hz < f < 0,0175 Hz	$0,7 \cdot 10^{-3}$	2	2	8
0,0175 Hz \leq f < 0,1575 Hz	$0,7 \cdot 10^{-3}$	$35 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{f}$	2	8
0,1575 Hz \leq f < 0,21 Hz	$0,7 \cdot 10^{-3}$	$35 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{f}$	2	$1,26 \cdot \frac{1}{f}$
0,21 Hz \leq f \leq 9,97 Hz	$0,7 \cdot 10^{-3}$	$35 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{f}$	$0,42 \cdot \frac{1}{f}$	$1,26 \cdot \frac{1}{f}$
9,97 Hz < f < 25 Hz	$7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{f}$	$35 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{f}$	$0,42 \cdot \frac{1}{f}$	$1,26 \cdot \frac{1}{f}$
25 Hz \leq f < 300 Hz	$7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{f}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,42 \cdot \frac{1}{f}$	$1,26 \cdot \frac{1}{f}$
300 Hz \leq f \leq 1 kHz	$7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{f}$	$0,42 \cdot \frac{1}{f}$	n. a.	$1,26 \cdot \frac{1}{f}$
1 kHz < f < 3 kHz	$7 \cdot 10^{-9} \cdot f$	$0,42 \cdot \frac{1}{f}$	n. a.	$1,26 \cdot \frac{1}{f}$
3 kHz \leq f \leq 20,7 kHz	$21 \cdot 10^{-6}$	$0,14 \cdot 10^{-3}$	n. a.	$0,42 \cdot 10^{-3}$
20,7 kHz < f \leq 48,769 kHz	$21 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot \frac{1}{f}$	n. a.	n. a.
48,769 kHz < f \leq 138,095 kHz	$21 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot \frac{1}{f}$	n. a.	n. a.
138,095 kHz < f \leq 10 MHz	$2,9 \cdot \frac{1}{f}$	n. a.	n. a.	n. a.

n. a.: nicht anwendbar

Anmerkung 1: Spitzenwerte der magnetischen Flussdichte sind als obere Grenze der jeweiligen Zone angegeben, f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung 2: Die Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber magnetischen Feldern stellen die gemessenen oder berechneten räumlichen Maximalwerte am Arbeitsplatz von Beschäftigten dar. Diese Anmerkung bezieht sich auf die Bewertung der Messergebnisse an unterschiedlichen räumlichen Messorten eines Arbeitsplatzes.

Anmerkung 3: Zur Vereinfachung der im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 EMFV durchzuführenden Bewertung der Exposition können Mess- oder Berechnungsverfahren mit definierter räumlicher Mittelung nach dem Stand der Technik angewendet werden. Diese Anmerkung bezieht sich auf die Messtechnik oder das Messverfahren für ein Messergebnis an einem bestimmten Messort.

Anmerkung 4: Für den Übergang von Expositionszone 0 in 1 gilt der Spitzenwert der magnetischen Feldstärke $[H] = \frac{A}{m}$ als Schwellenwert (Tabelle A1.26), mit $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$; $\mu_r = 1$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$.

A1.2.3 Expositionszonen für elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz

Tab. A1.5 Expositionszonen für elektrische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen elektrischen Feldstärke $\hat{E}_e \left(\frac{V}{m} \right)$	
	Expositionszone 0	Expositionszone 2
$100 \text{ kHz} \leq f < 1,007 \text{ MHz}$	236	862
$1,007 \text{ MHz} \leq f \leq 3,68 \text{ MHz}$	236	$868 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$
$3,68 \text{ MHz} < f < 10 \text{ MHz}$	$868 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$	n. a.
$10 \text{ MHz} \leq f \leq 400 \text{ MHz}$	86,8	n. a.
$400 \text{ MHz} < f < 2 \text{ GHz}$	$4,34 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{f}$	n. a.
$2 \text{ GHz} \leq f < 6 \text{ GHz}$	194,2	n. a.
$6 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	194,2	n. a.

Frequenzbereich	Effektivwert der externen elektrischen Feldstärke $E_{e,\text{eff}} \left(\frac{V}{m} \right)$	
	Expositionszone 0	Expositionszone 2
$100 \text{ kHz} \leq f < 1,007 \text{ MHz}$	166,8	609
$1,007 \text{ MHz} \leq f \leq 3,68 \text{ MHz}$	166,8	$614 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$
$3,68 \text{ MHz} < f < 10 \text{ MHz}$	$614 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$	n. a.
$10 \text{ MHz} \leq f \leq 400 \text{ MHz}$	61,4	n. a.
$400 \text{ MHz} < f < 2 \text{ GHz}$	$3,07 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{f}$	n. a.
$2 \text{ GHz} \leq f < 6 \text{ GHz}$	137,3	n. a.
$6 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	137,3	n. a.

n. a.: nicht anwendbar

Anmerkung 1: Spitzenwerte der externen elektrischen Feldstärke sind als obere Grenze der jeweiligen Zone angegeben, f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung 2: Die Auslöseschwellen werden bis 10 GHz über ein repräsentatives Sechs-Minuten-Intervall gemittelt. Über 10 GHz werden die Auslöseschwellen über ein beliebiges Zeitintervall von jeweils $68 \cdot \frac{1}{f^{1,05}}$ -Minuten gemittelt (wobei f die Frequenz in GHz ist).

Anmerkung 3: Die Leistungsdichte wird über ein beliebiges exponiertes Flächenelement von 20 cm² gemittelt. Die maximale örtliche Leistungsdichte, gemittelt über 1 cm², sollte das 20-Fache des Wertes von 50 W/m², also 1 kW/m², nicht überschreiten.

Anmerkung 4: Bei Hochfrequenzpulsen im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 10 MHz berechnen sich die Spitzenwerte für die elektrischen Feldstärken E durch lineare Interpolation des 1,5-fachen Wertes der Auslöseschwelle bei 100 kHz und des 32-fachen Wertes bei 10 MHz (siehe Abschnitt 8).

Anmerkung 5: Zur Vereinfachung der im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 EMF durchzuführenden Bewertung der Exposition können Mess- oder Berechnungsverfahren mit definierter räumlicher Mittelung nach dem Stand der Technik angewendet werden.

Tab. A1.6 Expositionszonen für magnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz

Frequenzbereich	Spitzenwert der magnetischen Feldstärke \hat{H} $\left(\frac{A}{m}\right)$	
	Expositionszone 0	Expositionszone 1
100 kHz $< f \leq 138,095$ kHz	16,7	$2,31 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$
138,095 kHz $< f < 10$ MHz	$2,31 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$	n. a.
10 MHz $\leq f < 400$ MHz	0,231	n. a.
400 MHz $\leq f < 2$ GHz	$11,51 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{f}$	n. a.
2 GHz $\leq f < 6$ GHz	0,515	n. a.
6 GHz $\leq f \leq 300$ GHz	0,515	n. a.

Frequenzbereich	Effektivwert der magnetischen Feldstärke H_{eff} $\left(\frac{A}{m}\right)$	
	Expositionszone 0	Expositionszone 1
100 kHz $< f \leq 138,095$ kHz	11,8	$1,63 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$
138,095 kHz $< f < 10$ MHz	$1,63 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$	n. a.
10 MHz $\leq f < 400$ MHz	0,163	n. a.
400 MHz $\leq f < 2$ GHz	$8,14 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{f}$	n. a.
2 GHz $\leq f < 6$ GHz	0,364	n. a.
6 GHz $\leq f \leq 300$ GHz	0,364	n. a.

n. a.: nicht anwendbar

- Anmerkung 1: Spitzenwerte der magnetischen Feldstärke sind als obere Grenze der jeweiligen Zone angegeben, f ist die Frequenz in Hertz (Hz).
- Anmerkung 2: Die Auslöseschwellen werden bis 10 GHz über ein repräsentatives Sechs-Minuten-Intervall gemittelt. Über 10 GHz werden die Auslöseschwellen über ein beliebiges Zeitintervall von jeweils $68 \cdot \frac{1}{f^{1,05}}$ -Minuten gemittelt (wobei f die Frequenz in GHz ist).
- Anmerkung 3: Die Leistungsdichte wird über ein beliebiges exponiertes Flächenelement von 20 cm² gemittelt. Die maximale örtliche Leistungsdichte, gemittelt über 1 cm², sollte das 20-Fache des Wertes von 50 W/m², also 1 kW/m², nicht überschreiten.
- Anmerkung 4: Bei Hochfrequenzpulsen im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 10 MHz berechnen sich die Spitzenwerte für die magnetischen Feldstärken H durch lineare Interpolation des 1,5-fachen Wertes der Auslöseschwelle bei 100 kHz und des 32-fachen Wertes bei 10 MHz (siehe Abschnitt 8).
- Anmerkung 5: Zur Vereinfachung der im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 EMF durchzuführenden Bewertung der Exposition können Mess- oder Berechnungsverfahren mit definierter räumlicher Mittelung nach dem Stand der Technik angewendet werden.
- Anmerkung 6: Für Frequenzen bis 138,095 kHz gilt für den Übergang von Expositionszone 0 in 1 der Spitzenwert der externen magnetischen Feldstärke $[H] = \frac{A}{m}$ (Tabelle A1.26).

A1.3 Expositionsgrenzwerte für EMF im Frequenzbereich bis 10 MHz nach Anhang 2 EMFV

Tab. A1.7 Expositionsgrenzwerte für die magnetische Flussdichte B von statischen Magnetfeldern, entspricht Tabelle A2.1 EMFV

Maximalwert der magnetischen Flussdichte \hat{B} (T)		
Sensorische Wirkungen (normale Arbeitsbedingungen)	Sensorische Wirkungen (lokale Exposition von Gliedmaßen)	Gesundheitliche Wirkungen (kontrollierte Arbeitsbedingungen)
2	8	8

- Anmerkung 1: Die Expositionsgrenzwerte in Tabelle A1.7 sind räumliche Maximalwerte für statische Magnetfelder zur Begrenzung der Wirkungen bei Beschäftigten, die in dem statischen Magnetfeld tätig werden. Wirkungen können insbesondere bei Bewegungen in den Bereichen mit hohen räumlichen Magnetfeldgradienten auftreten.
- Anmerkung 2: Bei Tätigkeiten in einem statischen Magnetfeld mit einer magnetischen Flussdichte B bis 2 T sind die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen nach Tabelle A1.10 für normale Arbeitsbedingungen im Frequenzbereich bis 10 Hz eingehalten.
- Anmerkung 3: Ist bei Tätigkeiten in einem statischen Magnetfeld mit einer magnetischen Flussdichte B bis 8 T die Exposition nur auf die Gliedmaßen beschränkt, so sind die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen nach Tabelle A1.10 im Frequenzbereich bis 10 Hz eingehalten.
- Anmerkung 4: Bei Tätigkeiten in einem statischen Magnetfeld mit einer magnetischen Flussdichte B bis 8 T sind die Expositionsgrenzwerte für sensorische und gesundheitliche Wirkungen nach Tabelle A1.9 im Frequenzbereich bis 10 Hz nur für kontrollierte Arbeitsbedingungen eingehalten.

Tab. A1.8 Expositionsgrenzwert für die externe elektrische Feldstärke E_e von statischen elektrischen Feldern, entspricht Tabelle A2.2 EMFV

Maximalwert der externen elektrischen Feldstärke \hat{E}_e ($\frac{V}{m}$)
$2,82 \cdot 10^4$

- Anmerkung: Der Expositionsgrenzwert in Tabelle A1.8 ist ein räumlicher Maximalwert für statische elektrische Felder zur Begrenzung der Wirkungen bei Beschäftigten, die in dem statischen elektrischen Feld tätig werden.

Tab. A1.9 Expositionsgrenzwerte der internen elektrischen Feldstärke E_i für gesundheitliche Wirkungen im Frequenzbereich bis 10 MHz, entspricht Tabelle A2.3 EMFV

Frequenzbereich	Spitzenwert der internen elektrischen Feldstärke \hat{E}_i ($\frac{V}{m}$)
$0 \text{ Hz} < f < 3 \text{ kHz}$	1,1
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$0,38 \cdot 10^{-3} \cdot f$

- Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).
- Anmerkung 2: Die Expositionsgrenzwerte der internen elektrischen Feldstärke E_i für gesundheitliche Wirkungen sind räumliche Maximalwerte im Körper von Beschäftigten.

Tab. A1.10 Expositionsgrenzwerte der internen elektrischen Feldstärke E_i für sensorische Wirkungen im Frequenzbereich bis 400 Hz, entspricht Tabelle A2.4 EMFV

Frequenzbereich	Spitzenwert der internen elektrischen Feldstärke \hat{E}_i ($\frac{V}{m}$)
$0 \text{ Hz} < f < 25 \text{ Hz}$	0,07
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$2,8 \cdot 10^{-3} \cdot f$

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung 2: Die Expositionsgrenzwerte der internen elektrischen Feldstärke E_i für sensorische Wirkungen in Tabelle A1.10 sind räumliche Maximalwerte im Kopf von Beschäftigten.

Tab. A1.11 Expositionsgrenzwerte für kontinuierliche Kontaktströme I_K bei greifendem Kontakt, entspricht Tabelle A2.5 EMFV

Frequenzbereich	Spitzenwert des stationären zeitveränderlichen Kontaktstroms I_K (mA)
bis 3 kHz	5
$3 \text{ kHz} \leq f < 45 \text{ kHz}$	$\frac{f}{600}$
$45 \text{ kHz} \leq f < 100 \text{ kHz}$	75
$100 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	75

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung 2: Durch den greifenden Kontakt wird die Kontaktfläche größer als bei berührendem Kontakt.

Tab. A1.12 Expositionsgrenzwerte für den Entladungspuls eines Kontaktstroms, entspricht Tabelle A2.6 EMFV

Maximale übertragene Entladungsenergie W (mJ)	Maximale übertragene Ladung Q (μC)
350	50

A1.4 Auslöseschwellen für EMF im Frequenzbereich bis 10 MHz nach Anhang 2 EMFV

Tab. A1.13 Auslöseschwellen für externe elektrische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 10 MHz, entspricht Tabelle A2.7 EMFV

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen elektrischen Feldstärke $\hat{E}_e \left(\frac{V}{m} \right)$	
	Untere Auslöseschwelle	Obere Auslöseschwelle
$0 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,82 \cdot 10^4$	$2,82 \cdot 10^4$
$25 \text{ Hz} \leq f < 50 \text{ Hz}$	$7,07 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{f}$	$2,82 \cdot 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,635 \text{ kHz}$	$7,07 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{f}$	$1,41 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$
$1,635 \text{ kHz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$7,07 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{f}$	$8,62 \cdot 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$2,36 \cdot 10^2$	$8,62 \cdot 10^2$

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung 2: Die Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber elektrischen Feldern stellen die gemessenen oder berechneten räumlichen Maximalwerte am Arbeitsplatz von Beschäftigten dar. Diese Anmerkung bezieht sich auf die Bewertung der Messergebnisse an unterschiedlichen räumlichen Messorten eines Arbeitsplatzes.

Anmerkung 3: Zur Vereinfachung der im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 EMFV durchzuführenden Bewertung der Exposition können Mess- oder Berechnungsverfahren mit definierter räumlicher Mittelung nach dem Stand der Technik angewendet werden. Diese Anmerkung bezieht sich auf die Messtechnik oder das Messverfahren für ein Messergebnis an einem bestimmten Messort.

Tab. A1.14 Auslöseschwellen für magnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 10 MHz, entspricht Tabelle A2.8 EMFV

Frequenzbereich	Spitzenwert der magnetischen Flussdichte \hat{B} (T)		
	Untere Auslöseschwelle	Obere Auslöseschwelle	Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen
$0 \text{ Hz} \leq f < 0,0175 \text{ Hz}$	2	2	8
$0,0175 \text{ Hz} \leq f < 0,1575 \text{ Hz}$	$35 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{f}$	2	8
$0,1575 \text{ Hz} \leq f < 0,21 \text{ Hz}$	$35 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{f}$	2	$1,26 \cdot \frac{1}{f}$
$0,21 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$35 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{f}$	$0,42 \cdot \frac{1}{f}$	$1,26 \cdot \frac{1}{f}$
$25 \text{ Hz} \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,42 \cdot \frac{1}{f}$	$1,26 \cdot \frac{1}{f}$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$0,42 \cdot \frac{1}{f}$	$0,42 \cdot \frac{1}{f}$	$1,26 \cdot \frac{1}{f}$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$0,14 \cdot 10^{-3}$	$0,14 \cdot 10^{-3}$	$0,42 \cdot 10^{-3}$

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung 2: Die Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber magnetischen Feldern stellen die gemessenen oder berechneten räumlichen Maximalwerte am Arbeitsplatz von Beschäftigten dar. Diese Anmerkung bezieht sich auf die Bewertung der Messergebnisse an unterschiedlichen räumlichen Messorten eines Arbeitsplatzes.

Anmerkung 3: Zur Vereinfachung der im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 EMFV durchzuführenden Bewertung der Exposition können Mess- oder Berechnungsverfahren mit definierter räumlicher Mittelung nach dem Stand der Technik angewendet werden. Diese Anmerkung bezieht sich auf die Messtechnik oder das Messverfahren für ein Messergebnis an einem bestimmten Messort.

Tab. A1.15 Auslöseschwellen für Kontaktströme I_K bei berührendem Kontakt, entspricht Tabelle A2.9 EMFV

Frequenzbereich	Spitzenwert des stationären zeitveränderlichen Kontaktstroms I_K (mA)
Bis 3 kHz	1
$3 \text{ kHz} \leq f < 45 \text{ kHz}$	$\frac{f}{3000}$
$45 \text{ kHz} \leq f < 100 \text{ kHz}$	15
$100 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	15

Anmerkung: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Tab. A1.16 Auslöseschwellen der magnetischen Flussdichte B bei statischen Magnetfeldern für die Beeinflussung von implantierten aktiven oder am Körper getragenen medizinischen Geräten, z. B. Herzschrittmacher, entspricht Tabelle A2.10 EMFV

Spitzenwert der magnetischen Flussdichte \hat{B} (mT)	
Untere Auslöseschwelle	Obere Auslöseschwelle
0,5	1

Tab. A1.17 Auslöseschwellen der magnetischen Flussdichte B für die Projektilwirkung von ferromagnetischen Gegenständen im Streufeld von Anlagen mit hohen statischen Magnetfeldern (> 100 mT), entspricht Tabelle A2.11 EMFV

Spitzenwert der magnetischen Flussdichte \hat{B} (mT)		
Untere Auslöseschwelle	Obere Auslöseschwelle	
	aktiv geschirmte Magnete	sonstige Magnete
3	30	60

A1.5 Expositionsgrenzwerte für EMF im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz nach Anhang 3 EMFV

Tab. A1.18 Expositionsgrenzwerte der spezifischen Absorptionsrate SAR für gesundheitliche Wirkungen von elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 100 kHz bis 6 GHz, entspricht Tabelle A3.1 EMFV

Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen	Spezifische Absorptionsrate SAR $\left(\frac{W}{kg}\right)$
Ganzkörpermittelwert der SAR	0,4
Lokale SAR-Wärmebelastung für Kopf und Rumpf	10
Lokale SAR-Wärmebelastung für Gliedmaßen	20

Anmerkung 1: Die SAR-Werte sind über ein Sechs-Minuten-Intervall zu mitteln.

Anmerkung 2: Lokale SAR-Werte sind über 10 g eines beliebigen zusammenhängenden Körpergewebes zu mitteln.

Tab. A1.19 Expositionsgrenzwert der Leistungsdichte S für gesundheitliche Wirkungen bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 6 GHz bis 300 GHz, entspricht Tabelle A3.2 EMFV

Frequenzbereich	Expositionsgrenzwert der Leistungsdichte S $\left(\frac{W}{m^2}\right)$
$6 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	50

Anmerkung: Die Leistungsdichte wird über jedes Flächenelement von 20 cm² gemittelt. Die maximale örtliche Leistungsdichte, gemittelt über 1 cm², darf das 20-Fache des Wertes von 50 W/m², also 1 kW/m², nicht überschreiten. Leistungsdichten im Frequenzbereich von 6 GHz bis 10 GHz werden über repräsentative Sechs-Minuten-Intervalle gemittelt. Oberhalb von 10 GHz wird die Leistungsdichte über ein beliebiges Zeitintervall von jeweils $68 \cdot \frac{1}{f^{1,05}}$ Minuten gemittelt (wobei f die Frequenz in GHz ist).

Tab. A1.20 Expositionsgrenzwert der lokalen spezifischen Energieabsorption SA für sensorische Wirkungen von gepulsten elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 0,3 GHz bis 6 GHz (Mikrowellenhören), entspricht Tabelle A3.3 EMFV

Frequenzbereich	Expositionsgrenzwert der lokalen spezifischen Energieabsorption SA $\left(\frac{\text{mJ}}{\text{kg}}\right)$
$0,3 \text{ GHz} \leq f \leq 6 \text{ GHz}$	10

Anmerkung 1: Die zu mittelnde Gewebemasse für lokale SA beträgt 10 g.

Anmerkung 2: Die sensorische Wirkung des Mikrowellenhörens kann nur bei Pulsbreiten kleiner als 30 μs auftreten.

A1.6 Auslöseschwellen für EMF im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz nach Anhang 3 EMFV

Tab. A1.21 Auslöseschwellen für elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz, entspricht Tabelle A3.4 EMFV

Frequenzbereich	Effektivwert der elektrischen Feldstärke $E_{\text{eff}} \left(\frac{\text{V}}{\text{m}}\right)$	Effektivwert der magnetischen Feldstärke $H_{\text{eff}} \left(\frac{\text{A}}{\text{m}}\right)$	Mittelwert der Leistungsdichte $\bar{S} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)$
$100 \text{ kHz} \leq f < 1 \text{ MHz}$	614	$1,63 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$	—
$1 \text{ MHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$	$614 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$	$1,63 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$	—
$10 \text{ MHz} \leq f < 400 \text{ MHz}$	61,4	0,163	10
$400 \text{ MHz} \leq f < 2 \text{ GHz}$	$3,07 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{f}$	$8,14 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{f}$	$25 \cdot 10^{-9} \cdot f$
$2 \text{ GHz} \leq f < 300 \text{ GHz}$	137,3	0,364	50

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung 2: Die Auslöseschwellen für E, H und S werden bis 10 GHz über ein Sechs-Minuten-Intervall gemittelt. Über 10 GHz werden die Auslöseschwellen für E, H und S über ein beliebiges Zeitintervall von jeweils $68 \cdot \frac{1}{f^{1,05}}$ Minuten gemittelt (wobei f die Frequenz in GHz ist).

Anmerkung 3: Die Leistungsdichte wird über ein beliebiges exponiertes Flächenelement von 20 cm^2 gemittelt. Die maximale örtliche Leistungsdichte, gemittelt über 1 cm^2 , sollte das 20-Fache des Wertes von 50 W/m^2 , also 1 kW/m^2 , nicht überschreiten.

Anmerkung 4: Bei Hochfrequenzpulsen im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 10 MHz berechnen sich die Spitzenwerte für die elektrischen Feldstärken E durch Interpolation des 1,5-fachen Wertes der Auslöseschwelle bei 100 kHz und des 32-fachen Wertes bei 10 MHz in Tabelle A1.21. Bei Frequenzen über 10 MHz überschreitet die über die Impulsbreite gemittelte Leistungsdichte S_{eq} nicht das Tausendfache der Auslöseschwellen oder die Feldstärken nicht das 32-Fache der entsprechenden Auslöseschwellen; für weitere Informationen siehe Tabelle A1.24 sowie Abschnitt 8 Absatz 3.

Anmerkung 5: Zur Vereinfachung der im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 EMFV durchzuführenden Bewertung der Exposition können Mess- oder Berechnungsverfahren mit definierter räumlicher Mittelung nach dem Stand der Technik angewendet werden.

Tab. A1.22 Auslöseschwellen für stationäre Kontaktströme I_K und induzierte Ströme durch die Gliedmaßen I_G im Frequenzbereich von 100 kHz bis 110 MHz, entspricht Tabelle A3.5 EMFV

Frequenzbereich	Effektivwert des stationären zeitveränderlichen Kontaktstroms I_K (mA)	Effektivwert des induzierten Stroms durch eine beliebige Gliedmaße I_G (mA)
$100 \text{ kHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$	40	—
$10 \text{ MHz} \leq f \leq 110 \text{ MHz}$	40	100

Anmerkung: Die Auslöseschwellen I_K und I_G werden jeweils über ein Sechs-Minuten-Intervall gemittelt.

Neben der Angabe von zulässigen Werten für Dauerexposition (siehe Tabelle A1.21) sind für EMF mit nicht konstanter Leistungsabgabe wegen der Thermoregulation des Körpers höhere Werte zulässig (siehe Abschnitt 8). Diese höheren Werte sind für jeden Einzelfall mit den in der Tabelle A1.23 enthaltenen Formeln zu bestimmen. Bei Anwendung der Werte nach Tabelle A1.23 ist zusätzlich sicherzustellen, dass die Spitzenwerte nach Tabelle A1.24 nicht überschritten werden.

Tab. A1.23 Höchstwerte der ALS für Mittelungsintervalle nach Tabelle A3.4 Anmerkung 2 EMFV

Frequenzbereich	Mittelungsintervall T_M in s	Höchstwert von $\sum E_{i,eff}^2 \cdot t_i$ in $\left(\frac{V}{m}\right)^2 \cdot s$	Höchstwert von $\sum H_{i,eff}^2 \cdot t_i$ in $\left(\frac{A}{m}\right)^2 \cdot s$	Höchstwert von $\sum \bar{S}_i \cdot t_i$ in $\left(\frac{W}{m^2}\right) \cdot s$
$100 \text{ kHz} \leq f < 1 \text{ MHz}$	360	$1,36 \cdot 10^8$	$9,56 \cdot 10^{14} \cdot \frac{1}{f^2}$	—
$1 \text{ MHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$	360	$1,36 \cdot 10^{20} \cdot \frac{1}{f^2}$	$9,56 \cdot 10^{14} \cdot \frac{1}{f^2}$	—
$10 \text{ MHz} \leq f < 400 \text{ MHz}$	360	$1,36 \cdot 10^6$	9,56	$3,60 \cdot 10^3$
$400 \text{ MHz} \leq f < 2 \text{ GHz}$	360	$3,39 \cdot 10^{-3} \cdot f$	$2,39 \cdot 10^{-8} \cdot f$	$9 \cdot 10^{-6} \cdot f$
$2 \text{ GHz} \leq f < 10 \text{ GHz}$	360	$6,79 \cdot 10^6$	47,7	$18 \cdot 10^3$
$10 \text{ GHz} \leq f < 300 \text{ GHz}$	$68 \cdot \frac{1}{f^{1,05}} \cdot 60 \frac{s}{min}$ mit f in GHz, $363,63 > T_M > 10,23$	$76,9 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f^{1,08}}$ (f in GHz)	$541 \cdot \frac{1}{f^{1,08}}$ (f in GHz)	$204 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{f^{1,08}}$ (f in GHz)

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz), wenn nicht anders in Formel aufgeführt. $E_{i,eff}$ und $H_{i,eff}$ sind Effektivwerte der elektrischen und magnetischen Feldstärke während des i-ten Intervalls; S_i ist der Mittelwert der Leistungsdichte während des i-ten Intervalls; t_i ist die Dauer des i-ten Intervalls in Sekunden.

Anmerkung 2: Die Leistungsdichte wird über ein beliebiges exponiertes Flächenelement von 20 cm² gemittelt. Die maximale örtliche Leistungsdichte, gemittelt über 1 cm², sollte das 20-Fache des Wertes von 50 W/m², also 1 kW/m², nicht überschreiten.

Tab. A1.24 Spitzenwerte der ALS und der über die Impulsbreite gemittelten Leistungsdichte (nach Anmerkung 4 Tabelle A3.4 EMFV)

Frequenzbereich	Spitzenwert der elektrischen Feldstärke $E_{\max} \left(\frac{\text{V}}{\text{m}} \right)$	Spitzenwert der magnetischen Feldstärke $H_{\max} \left(\frac{\text{A}}{\text{m}} \right)$	Spitzenwert der über die Impulsbreite gemittelten Leistungsdichte $S_{\text{eq}} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$ $\bar{S}_{\text{eq,max}}$
$f = 100 \text{ kHz}$	921	24,45	—
$100 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ MHz}$	$0,436 \cdot f^{0,665}$	$1156,6 \cdot \frac{1}{f^{0,335}}$	—
$1 \text{ MHz} < f \leq 10 \text{ MHz}$	$0,436 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f^{0,335}}$	$1156,6 \cdot \frac{1}{f^{0,335}}$	—
$10 \text{ MHz} < f < 400 \text{ MHz}$	$1,96 \cdot 10^3$	5,22	$10 \cdot 10^3$
$400 \text{ MHz} \leq f < 2 \text{ GHz}$	$0,098 \cdot \sqrt{f}$	$0,26 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{f}$	$25 \cdot 10^{-6} \cdot f$
$2 \text{ GHz} \leq f < 300 \text{ GHz}$	$4,39 \cdot 10^3$	11,65	$50 \cdot 10^3$

Anmerkung 1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung 2: Die Leistungsdichte wird über ein beliebiges exponiertes Flächenelement von 20 cm^2 gemittelt. Die maximale örtliche Leistungsdichte, gemittelt über 1 cm^2 , sollte das 20-Fache des Wertes von 50 W/m^2 , also 1 kW/m^2 , nicht überschreiten.

Anmerkung 3: Die Spitzenwerte der magnetischen Feldstärke im Frequenzbereich $100 \text{ kHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$ wurden zur Aussage in Tabelle A3.4 Anmerkung 4 EMFV ergänzt (siehe Abschnitt 8).

A1.7 Schwellenwerte zur Gewährleistung der Sicherheit von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten

A1.7.1 Schwellenwerte zur Beeinflussung aktiver Implantate im Sinne des Forschungsberichts FB 451

Tab. A1.25 Schwellenwerte der externen elektrischen Feldstärke E_e , die die Sicherheit von Personen mit aktiven medizinischen Implantaten im Sinne des Forschungsberichts FB 451 gewährleisten (nach Tabelle 6.3 FB 451 bzw. Anhang 1 Tabelle A1.13)

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen elektrischen Feldstärke $\hat{E}_e \left(\frac{V}{m} \right)$
$0 \text{ Hz} < f \leq 15,9 \text{ Hz}$	28200
$15,9 \text{ Hz} < f \leq 1000 \text{ Hz}$	$4,5 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{f}$
$1000 \text{ Hz} < f \leq 3000 \text{ Hz}$	$0,45 \cdot f$
$3 \text{ kHz} < f \leq 25 \text{ kHz}$	1350
$25 \text{ kHz} < f \leq 167 \text{ kHz}$	$0,055 \cdot f$
$167 \text{ kHz} < f \leq 300 \text{ kHz}$	9185
$300 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ MHz}$	$2,77 \cdot 10^9 \cdot \frac{1}{f}$
$1 \text{ MHz} < f \leq 5,33 \text{ MHz}$	2770
$5,33 \text{ MHz} < f \leq 10 \text{ MHz}$	$6,16 \cdot 10^4 \cdot \frac{1}{(f \cdot 10^{-6})^{1,85}}$
$10 \text{ MHz} < f \leq 16,9 \text{ MHz}$	$6,16 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{(f \cdot 10^{-6})^{2,85}}$
$16,9 \text{ MHz} < f \leq 200 \text{ MHz}$	195
$200 \text{ MHz} < f \leq 400 \text{ MHz}$	$3,36 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{(f \cdot 10^{-6})^{2,94}}$
$400 \text{ MHz} < f \leq 1,5 \text{ GHz}$	1500
$1,5 \text{ GHz} < f \leq 2,5 \text{ GHz}$	$446 \cdot 10^{-27} \cdot f^3$

Anmerkung: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Tab. A1.26 Schwellenwerte der externen magnetischen Feldstärke H und Flussdichte B, die die Sicherheit von Personen mit aktiven medizinischen Implantaten im Sinne des Forschungsberichts FB 451 gewährleisten (nach Tabelle 6.4 FB 451), mit $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$; $\mu_r = 1$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen magnetischen Feldstärke $\hat{H} \left(\frac{\text{A}}{\text{m}} \right)$	Spitzenwert der externen magnetischen Flussdichte $\hat{B} \text{ (T)}$
$0 \text{ Hz} < f \leq 9,97 \text{ Hz}$	555	$697 \cdot 10^{-6}$
$9,97 \text{ Hz} < f \leq 1000 \text{ Hz}$	$5555 \cdot \frac{1}{f}$	$6,97 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{f}$
$1000 \text{ Hz} < f \leq 3000 \text{ Hz}$	$5,55 \cdot 10^{-3} \cdot f$	$6,97 \cdot 10^{-9} \cdot f$
$3 \text{ kHz} < f \leq 167 \text{ kHz}$	16,7	$21 \cdot 10^{-6}$
$167 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ MHz}$	$2778 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{f}$	$3,5 \cdot \frac{1}{f}$
$1 \text{ MHz} < f \leq 5,33 \text{ MHz}$	2,78	$3,5 \cdot 10^{-6}$
$5,33 \text{ MHz} < f \leq 10 \text{ MHz}$	$14,8 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$	$18,6 \cdot \frac{1}{f}$
$10 \text{ MHz} < f \leq 16,9 \text{ MHz}$	$148 \cdot 10^{12} \cdot \frac{1}{f^2}$	$1,86 \cdot 10^8 \cdot \frac{1}{f^2}$
$16,9 \text{ MHz} < f \leq 200 \text{ MHz}$	0,52	$0,65 \cdot 10^{-6}$
$200 \text{ MHz} < f \leq 400 \text{ MHz}$	$8,9 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{f}{10^6} \right)^{2,94}$	$11,18 \cdot 10^{-14} \cdot \left(\frac{f}{10^6} \right)^{2,94}$
$400 \text{ MHz} < f \leq 1,5 \text{ GHz}$	4	$5,03 \cdot 10^{-6}$
$1,5 \text{ GHz} < f \leq 2,5 \text{ GHz}$	$1,18 \cdot 10^{-27} \cdot f^3$	$1,48 \cdot 10^{-33} \cdot f^3$

Anmerkung: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

A1.7.2 Schwellenwerte zur Beeinflussung passiver Implantate

Tab. A1.27 Schwellenwerte der externen elektrischen Feldstärke E_e , die die Sicherheit von Personen mit passiven medizinischen Implantaten gewährleisten (nach Tabelle 6.5 FB 451)

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen elektrischen Feldstärke $\hat{E}_e \left(\frac{V}{m} \right)$
$0 \text{ Hz} < f \leq 53,3 \text{ Hz}$	28200
$53,3 \text{ Hz} < f \leq 1000 \text{ Hz}$	$1,51 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$
$1000 \text{ Hz} < f \leq 576 \text{ kHz}$	1510
$576 \text{ kHz} < f \leq 10 \text{ MHz}$	$8,68 \cdot 10^8 \cdot \frac{1}{f}$
$10 \text{ MHz} < f \leq 400 \text{ MHz}$	86,8
$400 \text{ MHz} < f \leq 2 \text{ GHz}$	$4,34 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$
$2 \text{ GHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	194

Anmerkung: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Tab. A1.28 Schwellenwerte der externen magnetischen Feldstärke H und Flussdichte B , die die Sicherheit von Personen mit passiven medizinischen Implantaten gewährleisten (nach Tabelle 6.6 FB 451), mit

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H; \mu_r = 1; \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

Frequenzbereich	Spitzenwert der externen magnetischen Feldstärke $\hat{H} \left(\frac{A}{m} \right)$	Spitzenwert der externen magnetischen Flussdichte $\hat{B} \text{ (T)}$
$0 \text{ Hz} < f \leq 1,6 \text{ Hz}$	47750	$60 \cdot 10^{-3}$
$1,6 \text{ Hz} < f \leq 1000 \text{ Hz}$	$76400 \cdot \frac{1}{f}$	$96 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{f}$
$1000 \text{ Hz} < f \leq 91 \text{ kHz}$	76,4	$96 \cdot 10^{-6}$
$91 \text{ kHz} < f \leq 30 \text{ MHz}$	$6,93 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{f}$	$8,71 \cdot \frac{1}{f}$
$30 \text{ MHz} < f \leq 400 \text{ MHz}$	0,231	$0,29 \cdot 10^{-6}$
$400 \text{ MHz} < f \leq 2 \text{ GHz}$	$11,5 \cdot 10^{-6} \sqrt{f}$	$14,5 \cdot 10^{-12} \sqrt{f}$
$2 \text{ GHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	0,515	$0,647 \cdot 10^{-6}$

Anmerkung: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anhang 2: Ergänzungen zur Ermittlung der Exposition

A2.1 Allgemeines

(1) Ergänzend zu den Festlegungen in Abschnitt 4.1.3 werden nachstehend Besonderheiten bei der Durchführung von Expositionsmessungen im Frequenzbereich mit $f > 100$ kHz beschrieben:

1. Für die Beurteilung der Exposition ist zu unterscheiden, ob Nah- oder Fernfeldbedingungen vorliegen.
2. Das Fernfeld einer Strahlungsquelle ist dadurch gekennzeichnet, dass dort die Vektoren der elektrischen und magnetischen Feldstärke senkrecht aufeinander und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung stehen und keine Phasendifferenzen zwischen beiden Vektoren vorliegen. Die elektrische und die magnetische Feldstärke sind über den Feldwellenwiderstand Z_0 verknüpft:

$$Z_0 = \frac{E_{\max}}{H_{\max}} = 377\Omega \qquad \text{Gl. A2.1}$$

3. Unter Fernfeldbedingungen genügt die Messung einer Größe (elektrische oder magnetische Feldstärke). Die andere Größe kann aus dem Messwert berechnet werden.
4. Im Nahfeld gelten diese Bedingungen nicht mehr. Das Verhältnis der Beträge aus elektrischer und magnetischer Feldstärke ist in dieser Zone um die Strahlungsquelle nicht mehr konstant. Aus dem Messwert der einen Feldgröße kann somit nicht mehr auf den Wert der anderen Größe geschlossen werden. Eine einfache Umrechnung zwischen den Feldgrößen ist nicht möglich. Im Nahfeld müssen daher die elektrische und magnetische Feldstärke bzw. die magnetische Flussdichte einzeln ermittelt und bewertet werden.
5. In der Praxis kann aufgrund der teilweise komplexen Struktur der Strahlungsquellen und durch Umgebungseinflüsse häufig keine zuverlässige Entscheidung getroffen werden, ob am Messort Nah- oder Fernfeldbedingungen vorliegen. Deshalb sollten in diesen Fällen im Frequenzbereich mit $f < 1$ GHz die elektrische und die magnetische Feldstärkekomponente getrennt mit einem dafür geeigneten Messwertaufnehmer ermittelt werden.
6. Im Frequenzbereich von $30 \text{ MHz} < f < 1 \text{ GHz}$ ist es auch möglich, aus der Messung von E_{\max} , das durch Reflexionen entstehen kann, H_{\max} über Gleichung A2.1 zu berechnen.
7. Oberhalb von 1 GHz ist es oft ausreichend, die elektrische Feldstärke bzw. die Leistungsdichte zu betrachten.
8. Dem Einfluss auf die Anzeige des Messgerätes durch Sendart (Modulationsart) und Vorhandensein mehrerer Frequenzen muss Rechnung getragen werden.
9. Effektivwerte können von breitbandigen Messgeräten mit Effektivwertanzeige (z. B. durch Verwendung von Thermokoppler-Feldsonden) auch bei Vorhandensein mehrerer unterschiedlicher Frequenzen direkt gemessen werden. Bei selektiven Messungen müssen die Einzeleffektivwerte für die jeweiligen Frequenzen zur Ermittlung des Gesamteffektivwertes quadratisch addiert werden.
10. Die elektrische Feldstärke in einer Raumrichtung kann mit einem Monopol oder Dipol gemessen werden, der kurz im Verhältnis zur Wellenlänge sein sollte.
11. Die magnetische Feldstärke in einer Raumrichtung kann mit einer Rahmenantenne gemessen werden, deren Abmessungen klein im Verhältnis zur Wellenlänge sein sollten.

12. Aus den Feldstärkekomponenten der drei zueinander senkrechten Raumrichtungen ergibt sich für jede Frequenz der Betrag der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke durch geometrische Addition. Eine direkte Messung ist möglich, indem die Fußpunktspannungen von drei senkrecht zueinander angeordneten Messantennen zusammengefasst und angezeigt werden.
 13. Für Teilkörperexposition im Nahfeld, z. B. bei Mobiltelefonen, Handsprechfunkgeräten etc., ist sinnvollerweise ein Vergleich mit den EGW nach den Abschnitten A1.18 und A1.19 vorzunehmen. Die Festlegungen der EMFV sind beim Betrieb solcher Geräte erfüllt, bei denen der Hersteller bzw. Händler den Nachweis erbracht hat, dass die zulässigen Werte nach den Abschnitten A1.18 und A1.19 eingehalten sind. Die europäischen Normen DIN EN 50360 und DIN EN 62209-1 sowie die deutsche Norm DIN EN 50413 beschreiben Mess- und Berechnungsverfahren für Telekommunikationsgeräte, mit denen die erforderliche Beurteilung vorgenommen werden kann.
 14. Die Messung der Exposition im Strahlungsbereich einer Radaranlage kann beispielsweise folgendermaßen erfolgen:
 - a) die Rotations- oder Schwenkautomatik der Radarantenne wird außer Betrieb gesetzt und die Antenne nacheinander so auf jeden der zu untersuchenden Messorte gerichtet, dass sich dieser im Strahlungsmaximum befindet,
 - b) bei umschaltbarer Antennen- und Modulationscharakteristik ist diejenige mit der höchsten Leistungsdichte am jeweiligen Messort zu wählen,
 - c) Spektrumanalysator in zero-span Modus (in einem Wasserfalldiagramm werden die Pulse nur richtig dargestellt, wenn der Span so klein gewählt wird, dass die Messbandbreite nicht aus Teilbereichen zusammengesetzt wird), anderenfalls wird nicht immer der gesamte dargestellte Bereich zeitlich durchgängig erfasst und
 - d) wenn keine dafür geeigneten Messgeräte zur Verfügung stehen, können zur Kontrolle der Einhaltung der Maximalwerte diese aus den Messwerten der mittleren Leistungsdichte und den Parametern Impulsbreite und Pulsfolgefrequenz errechnet werden.
- (2) Für Festlegungen zur Durchführung von Expositionsmessungen im Frequenzbereich mit $f \leq 100$ kHz siehe TREMF NF Teil 2.
- (3) Feldsonden mit isotroper Empfangscharakteristik, die durch eine orthogonale Anordnung von drei Messwertaufnehmern im Sondenkopf erzielt wird, liefern einen von Einfallrichtung und Polarisation des zu messenden Feldes weitgehend unabhängigen Messwert. Das Zusammenführen der Einzelsignale nach der Summenformel führt zu einer Summen-Feldstärke, die den beschriebenen Messwert darstellt. Feldsonden mit nur einem Messwertempfänger oder einachsige Messantennen weisen eine Richtcharakteristik auf und erfordern eine Orientierung der Sonde bzw. Antenne im Feld mit Maximumanzeige am Messgerät.

(4) Bei der Ausbreitung eines EMF kann es zu Inhomogenitäten z. B. aufgrund geringer Nähe zur EMF-Quelle, zu Konstruktionselementen oder zu leitfähigen Oberflächen kommen. Um eine Beeinflussung des Messwertaufnehmers zu vermeiden, müssen ggf. Mindestabstände zu Gegenständen in der Umgebung des Messwertaufnehmers berücksichtigt werden (siehe Herstellerangaben zum Messwertaufnehmer oder in Messvorschriften einschlägiger Produktnormen). Bei Nichteinhaltung der Mindestabstände ist die Verlässlichkeit der Feldstärkemessung nicht mehr in dem Maße gegeben wie bei Einhaltung der Abstände. Es ist sowohl eine Über- als auch Unterbewertung denkbar. Da es jedoch bei der Ausübung von Tätigkeiten sehr wohl sein kann, dass die Aufenthaltsbereiche von Beschäftigten (Ganz- oder Teilkörperexposition) innerhalb dieser Mindestabstände liegen, ist eine Bewertung dieser Inhomogenitäten zur korrekten Ermittlung der auftretenden Exposition unbedingt notwendig. Das heißt, dass bei Messungen am Arbeitsplatz diese Mindestabstände nur dann berücksichtigt werden dürfen, wenn sichergestellt ist, dass es zu keiner Exposition von Beschäftigten (Ganz- oder Teilkörperexposition) innerhalb dieser Mindestabstände kommt. Wenn möglich, ist ein Mindestabstand von 50 cm zu leitfähigen Objekten einzuhalten. Sicherheitsvorschriften und/oder -abstände sind bei Messungen einzuhalten.

(5) ALS sind festgelegte Werte von direkt messbaren physikalischen Größen. Bei ALS, die von EGW abgeleitet sind, bedeutet die Einhaltung dieser ALS, dass die entsprechenden EGW nicht überschritten werden. Bei Exposition oberhalb dieser ALS sind Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten zu ergreifen, es sei denn, dass die relevanten EGW nachweislich eingehalten sind.

(6) Analytische Berechnungsmethoden lassen sich anwenden, wenn die reale komplexe Expositionssituation in ein stark vereinfachendes Modell übertragen werden kann. Auf diese Weise können Näherungsergebnisse für die Feldgrößen um eine Feldquelle herum oder im Inneren des menschlichen Körpers ermittelt werden.

Numerische Berechnungsmethoden ermöglichen es, deutlich mehr Details, wie z. B. die Komplexität des menschlichen Körpers, zu berücksichtigen. Die Ergebnisse lassen sich unter Berücksichtigung der vollständigen zugrundeliegenden physikalischen Feldgleichungen ermitteln. Oftmals werden aber auch bei diesen Methoden Näherungen eingesetzt.

A2.2 Messung von Effektiv- und Spitzenwert

Die Tabellen in Anhang 1 geben teilweise Spitzenwert und teilweise Effektivwert (RMS-Wert) einer Feldgröße an. Messgeräte müssen also in vielen Fällen beide Werte liefern, da eine Berechnung des Spitzenwerts aus dem gemessenen Mittelwert nur in Spezialfällen möglich ist (z. B. bei einem rein sinusförmigen Zeitverlauf des gemessenen Feldes).

Bei Verwendung geeigneter Hochfrequenz-Breitbandsonden (d. h., der im Datenblatt des Herstellers angegebene „True-RMS-Bereich“ der Sonde ist nicht kleiner als die Größe des zu messenden Feldes) liefert das Breitbandmessgerät den Effektivwert des Feldes. Werden jedoch Feldstärkewerte gemessen, die oberhalb des „True-RMS-Bereichs“ des Sensors liegen, liefert die Anzeige des Messgeräts einen Wert, der im Allgemeinen weder dem Effektiv- noch dem Spitzenwert des Feldes entspricht. Insbesondere bei Messung kurzer Hochfrequenzimpulse (z. B. Radar) ist dies besonders zu beachten.

Bei frequenzselektiven Hochfrequenzfeldstärkemessgeräten, die auf einem Spektrumanalysator basieren, ist meistens sowohl der Effektivwert des Feldes ablesbar, als auch ein „Peak-Wert“. Wobei beim „Peak-Wert“ des Spektrumanalysators allerdings beachtet werden muss, dass in der Hochfrequenzmesstechnik darunter nicht der größte Momentanwert des Signals (also der „Spitzenwert“), sondern der Effektivwert des Signals zum Zeitpunkt der größten Momentanleistung verstanden wird. Bei modulierten Signalen der Funkkommunikation tritt dieser Wert dann auf, wenn die Hüllkurve des Signals maximal groß ist. Der „Peak-Wert“ ist dann der zum Zeitpunkt der maximalen Hüllkurve auftretende Effektivwert des Trägersignals. Den „Spitzenwert“ im Sinne der EMFV bzw. der TREMF (z. B. bei Grenzwertvergleich für Frequenzen unter 10 MHz oder bei Vergleich mit den Grenzwerten für Implantatbeeinflussung) erhält man, wenn man den vom Analysator angegebenen „Peak-Wert“ noch mit dem Faktor $\sqrt{2} \approx 1,414$ multipliziert.

A2.3 Messprotokoll

Das Messprotokoll enthält, soweit zutreffend, folgende Angaben:

1. Allgemeine Angaben:
 - a) Anlass und Ziel der Messung,
 - b) Name und Adresse des Betriebs ggf. mit Angabe des Standorts,
 - c) Datum der Messung und
 - d) Angaben zu den Personen, die an der Messung teilnahmen;
2. Angaben zum Arbeitsplatz und den dort vorhandenen EMF-Quellen:
 - a) Ort und Zeit der Messung (z. B. Gebäudebezeichnung, Raumnummer),
 - b) Zugänglichkeit (Zugangsbeschränkungen, Befugnisse),
 - c) klimatische Bedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchte), auch während der Messung zu protokollieren,
 - d) Beschreibung des Arbeitsplatzes mit Identifikation und Beschreibung von dort vorhandenen EMF-Quellen unter Angabe von:
 - Art der EMF-Quelle, ggf. Funktionsprinzip, Anlagen- oder Generatorbezeichnung,
 - Hersteller,
 - Modell, Typ,
 - Baujahr,
 - Seriennummer, Fabriknummer,
 - Verwendungszweck,
 - maximale Betriebsspannung und -strom,
 - maximale Ausgangsleistung,
 - Betriebsspannung und -strom, Mastbild und Bodenabstand der Leiterseile (Energieversorgungs- und Bahnstromanlagen),
 - dominierende Feldart (elektrisch, magnetisch, elektromagnetisch),
 - Arbeitsfrequenz(en),
 - kontinuierlicher oder gepulster Feldverlauf, ggf. Angaben zu Pulsdauern, Pausen, zeitlichem Verlauf des Pulses und
 - Modulation,
 - e) ggf. Skizzen und/oder Fotos zur Dokumentation von z. B. Abständen, Abmessungen, dem Arbeitsbereich oder der Lage der Feldquellen zueinander;
3. Angaben zu den Arbeitsbedingungen während des Arbeitsprozesses:
 - a) Ablauf des Arbeitsprozesses/Art der Tätigkeit (Bedienung, Wartung, Instandsetzung ...),
 - b) Betriebsart und betriebliche Anlagenauslastung,

- c) effektive Expositionszeit pro Tag; Taktzeiten,
 - d) räumliche Position des Beschäftigten gegenüber der Feldquelle (ggf. mit Skizze und/oder Foto),
 - e) mögliche minimale Annäherung an die Feldquelle/Erreichbarkeit von Teilen der Feldquelle mit den Extremitäten Hand/Arm;
4. Angaben zu den verwendeten Messgeräten und Messsonden:
- a) Herstellername, Modell und Seriennummer,
 - b) Spezifikationen des Messgeräts (Messbereiche, Frequenzbereiche, Messgenauigkeit),
 - c) Bezeichnung und Eigenschaften der verwendeten Sondentypen (z. B. Richtcharakteristik (isotrop, einachsig), Messfläche),
 - d) Datum der letzten Kalibrierung;
5. Angaben zur Messung:
- a) Einstellungen des Messgeräts während der Messung, z. B.
 - Einstellungen des Messgeräts (z. B. Messbereich, Durchlassband, Aufnahme- bzw. Abtastfrequenz),
 - Messbereich,
 - Frequenzfilter;
 - b) Messmethode:
 - orientierende Messung (Maximumsuche in einem Messvolumen),
 - Punktmessung:
 - Lage der Messpunkte,
 - Begründung für die Lage der Messpunkte,
 - Dokumentation des Messorts bzw. der Lage der Messpunkte durch Lageskizze oder Fotos;
6. Eindeutige Angaben zu den Messwerten, wie:
- a) Einheit des Wertes,
 - b) Art des Wertes (Spitzenwert, Effektivwert),
 - c) zeitliche oder räumliche Mittelungen,
 - d) Art der gemessenen Feldkomponente (Gesamtfeld, x-, y- oder z-Komponenten),
 - e) ggf. statistische Informationen, z. B. die höchsten und niedrigsten Feldwerte, Mittelwert (Median), geometrisches Mittel usw.,
 - f) bei der Aufnahme von Spektren und zeitlichen Feldverläufen
 - Frequenzauflösung,
 - Amplitudenauflösung,
 - Aufnahme- bzw. Abtastfrequenz,
 - g) Angaben zur Messunsicherheit (siehe Abschnitt 5).

A2.4 Messbericht

Der Messbericht umfasst in der Regel folgende Angaben:

1. Allgemeine Informationen:
- a) eindeutige Identifikation des Messberichts (z. B. Berichtsnummer),
 - b) Anlass und Ziel der Messung,
 - c) Angaben zu der Stelle und Person, die die Messung durchgeführt hat,
 - d) Zeitpunkt und Dauer der Messung,
 - e) Angaben zur Tätigkeit und zum Arbeitsplatz,

- f) falls relevant Angaben zu exponierten Personen,
 - g) Analyse der Arbeitsaufgabe,
 - h) wesentliche Informationen aus dem Messprotokoll (siehe Abschnitte 4.1.4 sowie A2.2), insbesondere die Messergebnisse;
2. Aufnahme der Exposition:
- a) Art und Typ der EMF-Quelle(n),
 - b) verwendete Schutzausrüstung(en), nicht nur EMF spezifisch,
 - c) falls möglich Fotos, ansonsten Skizzen des Arbeitsplatzes, der Expositionssituation und der Messorte,
 - d) verwendete Messeinrichtung(en) und Details zum Messverfahren,
 - e) Ergebnisse der Messung (siehe Abschnitt 4.1.4), Angaben zur Messunsicherheit (siehe Abschnitt 5) und deren Bewertung in Relation zu den EGW, die zur Bewertung herangezogen wurden,
 - f) Sind zusätzlich analytische oder numerische Berechnungen durchgeführt worden (Anhang 3), sind die Ergebnisse in geeigneter Form dem beizufügen:
 - Name, Version und Hersteller der verwendeten Berechnungssoftware,
 - verwendete Berechnungsmethode,
 - Beschreibung der getroffenen Modellannahmen,
 - welche wesentlichen Vereinfachungen gegenüber der realen Problemstellung wurden gemacht,
 - Eigenschaften der modellierten Feldquelle (Geometrie, Frequenz),
 - ggf. Angaben zum verwendeten anatomischen Körpermodell,
 - ausreichende Einzelheiten, um die Wiederholbarkeit der Berechnungsergebnisse zu ermöglichen,
 - Abschätzung der Unsicherheit der Berechnungsergebnisse (auch als Ergebnis von Modellannahmen, Diskretisierung oder gewählten Randbedingungen),
 - Begründung für die berechneten Positionen (z. B. aufgrund von möglichem Aufenthalt und Aktivitäten von dem Feld ausgesetzten Personen);
3. Bewertung:
- a) Angaben zu den Werten, die zur Bewertung herangezogen wurden, mit Begründung und gegebenenfalls Erläuterung
 - untere/obere ALS,
 - EGW,
 - andere (z. B. Werte aus dem Forschungsbericht FB 451, individuell berechnete zulässige Werte für Implantatträger),
 - b) sonstige Überlegungen, die zur Beurteilung der Messwerte herangezogen wurden (z. B. Hochrechnen der Messwerte auf maximale Anlagenauslastung),
 - c) Ergebnis der Bewertung und Beurteilung und darauf basierend gegebenenfalls Empfehlungen von Maßnahmen zur Verbesserung der Expositionssituation und der Sicherheit am Arbeitsplatz (inklusive geeigneter Schutzmaßnahmen).

Weitere Informationen bezüglich des Bewertungsberichts können DIN EN ISO/IEC 17025 entnommen werden.

Anhang 3: Ergänzungen zu Simulations- und Berechnungsverfahren

Die hier aufgeführten Ergänzungen zu Simulations- und Berechnungsverfahren entfalten keine Vermutungswirkung im Sinne von § 21 Absatz 6 Nummer 1 BetrSichV.

Wie in Abschnitt 4.2 dargestellt, sind neben der messtechnischen Bestimmung der EMF auch numerische oder analytische Methoden zur Feldberechnung anwendbar. Grundlegend für alle Methoden sind die Maxwell'schen Gleichungen. Unterschiede ergeben sich durch variable Anfangs-, Rand- und Stetigkeitsbedingungen sowie getroffene Vereinfachungen (Approximationen).

Werden die Berechnungsmethoden auf Modelle angewendet, die die reale Problemstellung geeignet beschreiben, spricht man von Simulationen oder Simulationsrechnungen. Das Ergebnis solcher Rechnungen beschreibt das Verhalten der EMF oder bestimmter Größen, die mithilfe einer Messung nicht direkt zugänglich sind.

Für die Simulation ist eine Vielzahl von Berechnungsprogrammen verfügbar, die sich in der Anwendung der Methoden, der Ausrichtung auf bestimmte Problemstellungen und in ihrer Flexibilität unterscheiden.

A3.1 Analytische Methoden zur Feldberechnung

Analytische Methoden lassen sich dann sinnvoll einsetzen, wenn sich die komplexe Geometrie einer praktischen Problemstellung mit mathematischen Gleichungen beschreiben lässt. Die Lösungen dieser Gleichungen beschreiben die Feldverteilung der EMF.

Analytische Methoden zur Feldberechnung nutzen z. B.:

1. das Gesetz von Biot-Savart,
2. den Gauss'schen Satz der Elektrotechnik,
3. das Vektorpotential,
4. das Skalarpotential oder
5. die Spiegelungsmethode.

Analytische Berechnungen können insbesondere hilfreich sein, um mit guter Genauigkeit zu einer ersten Einschätzung der Expositionssituation einer Person zu kommen.

Der Raum um die abstrahlende Feldquelle wird je nach Entfernung von der Feldquelle in den reaktiven Nahfeldbereich, den abstrahlenden Nahfeldbereich und den Fernfeldbereich unterteilt. Bei der Auswahl analytischer Berechnungsmodelle ist daher zu beachten, dass die Gleichungen für den jeweiligen Bereich anwendbar sind [DIN EN 50413:2009, Anhang A1.2].

Neben dem Einsatz analytischer Methoden zur Berechnung der Feldverteilung im Raum können diese auch eingesetzt werden, um die durch ein äußeres Feld hervorgerufenen Stromdichten oder elektrischen Feldstärken bzw. die absorbierte Energie im menschlichen Körper abschätzen zu können. Hierzu werden in der Regel folgende vereinfachende Annahmen gemacht [DIN EN 50413:2009]:

1. Die äußeren elektrischen und magnetischen Felder sind gleichförmig und haben nur eine Frequenz.
2. Das Körpermodell ist hinsichtlich seiner dielektrischen Eigenschaften homogen. (Häufig werden hierfür die bei der untersuchten Frequenz auftretenden Ganzkörpermittelergebnisse über alle Gewebearten herangezogen.)
3. Die Form des Körpermodells kann analytisch beschrieben werden, z. B. durch Kugeln, Kugelformen (Sphäroide), Scheiben, Würfelformen (Kuben) o. Ä.

Die komplexe, inhomogene menschliche Anatomie und die in der Praxis üblicherweise nicht gleichförmigen Expositionsbedingungen können bei solchen Berechnungen nicht berücksichtigt werden. Daher sind sie zum Nachweis der Einhaltung der EGW im menschlichen Körper nur eingeschränkt sinnvoll anwendbar. Die unter Zuhilfenahme solcher vereinfachten Modelle ermittelten Ergebnisse lassen sich aber verwenden, um die Gültigkeit numerischer Rechnungen zu überprüfen (Validierung).

A3.2 Numerische Methoden zur Feldberechnung

Stellt sich die Problemstellung als zu komplex für die Anwendung einer analytischen Berechnungsmethode dar, kommen numerische Methoden zum Einsatz. Für die computergestützte Umsetzung numerischer Berechnungsmethoden ist eine räumliche und, bei zeitabhängigen Problemen, zeitliche Diskretisierung erforderlich. Als Folge dieser Diskretisierung und abhängig von der angewandten numerischen Methode wird die Lösung nur für bestimmte diskrete Punkte im Raum und dort nur näherungsweise berechnet, sodass das Ergebnis aus einer meist großen, aber endlichen Zahl von diskreten Werten besteht.

Übliche numerische Methoden zur Feldberechnung sind z. B.:

1. Finite Differenzen Methode im Zeitbereich (FDTD),
2. Finite Integrale Methode (FIT),
3. Finite Elemente Methode (FEM),
4. Boundary Element Method (BEM), Randelementmethode,
5. Method of Moments (MoM), Momentenmethode oder
6. Methode der multiplen Multipole (MMP).

Man spricht in diesem Zusammenhang auch von feldtheoretischen Lösungsmethoden. Abhängig von der Problemstellung können die Methoden auch miteinander gekoppelt werden, um die jeweiligen Vorteile miteinander zu kombinieren.

Bei den unterschiedlichen numerischen Feldberechnungsmethoden wird die Lösung für das Gesamtfeld aus den jeweils zugrundeliegenden Feldgleichungen gewonnen. Dies können die vollständigen Maxwell-Gleichungen oder aber aus diesen abgeleitete, angenäherte oder vereinfachte Gleichungen sein, die die Problemstellung ausreichend genau beschreiben.

So können bei hohen Frequenzen, wenn die Abmessungen der interessierenden Strukturen groß gegenüber der Freiraumwellenlänge sind, optische Näherungsmethoden eingesetzt werden. Bei diesen gehen neben den Maxwell-Gleichungen auch Elemente der klassischen geometrischen Optik ein.

Bekanntere Methoden sind z. B.:

1. die geometrische Beugungstheorie (Geometrical Theory of Diffraction (GTD)),
2. die verallgemeinerte geometrische Beugungstheorie (Uniform Geometrical Theory of Diffraction (UTD)) oder
3. die physikalische Beugungstheorie (Physical Theory of Diffraction (PTD)).

Für den Fall großräumiger Feldverteilungen (z. B. Funknetzplanung in der Mobilfunkplanung) können diese Methoden sehr vorteilhaft eingesetzt werden, da hier aus Gründen des PC-Arbeitsspeicherbedarfs nicht mehr auf feldtheoretische Methoden wie z. B. MoM, FEM oder FDTD zurückgegriffen werden kann.

Bei der Auswahl einer numerischen Methode zur Feldberechnung oder eines geeigneten Computerprogramms für Berechnungen mittels einer solchen Methode sollten, mit Blick auf die Problemstellung, Überlegungen zu folgenden Punkten angestellt werden:

1. Größe des Raums, für den das Feld berechnet werden soll,
2. primär interessierende Feldgröße (elektrisches, magnetisches oder elektromagnetisches Feld),
3. Rand- und Nebenbedingungen,
4. dosimetrische Größen (Gewebefeldstärken, SAR-Werte, SA-Werte),
5. Art der Diskretisierung im Hinblick auf die Modellierung komplexer Modelle, gekrümmter Oberflächen o. Ä.,
6. erforderliche Dimension der Lösung (2D/3D),
7. Zeitabhängigkeiten bzw. Zeitverhalten,
8. Art der Feldquelle,
9. Genauigkeitsanforderungen,
10. mögliche Einbindung detaillierter menschlicher Körpermodelle oder
11. Berücksichtigung frequenzabhängiger, dielektrischer Materialeigenschaften.

Zur Berechnung von EMF innerhalb des menschlichen Körpers (Dosimetrie), die beispielsweise zur Nachweisführung der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte notwendig sein kann, können numerische Körpermodelle, die den inneren Aufbau des menschlichen Körpers detailliert wiedergeben, eingesetzt werden. Insgesamt existiert eine Vielzahl von numerischen Modellen für den weiblichen und männlichen Körper.

Die wesentlichen Unterschiede der Modelle liegen zum einen in der Anzahl der nachgebildeten Gewebearten (Detaillierungsgrad) und zum anderen in der für Berechnungen verfügbaren Auflösung. Manche Körpermodelle lassen überdies Haltungsmanipulationen zu, sodass z. B. die Arbeitsposition an einer Feldquelle realistischer abgebildet werden kann.

Für eine Berechnung sollte es möglich sein, den unterschiedlichen Gewebearten die passenden frequenzabhängigen dielektrischen Eigenschaften zuzuweisen.

Hinweis: Aufgrund der zur Verfügung stehenden Rechnerleistungen stellt der Einsatz von einfachen Geometrien (z. B. scheibenförmige, würfelförmige oder kugelförmige (Sphäroid) Modelle) als einfache menschliche Körperrückbildung nicht den Stand der Technik dar. Insbesondere für den Nachweis der Einhaltung der EGW müssen numerische Körpermodelle (siehe oben) verwendet werden.

Anhang 4: Ergänzungen zu Mess- und Berechnungsunsicherheiten

Die hier aufgeführten Ergänzungen zu Mess- und Berechnungsunsicherheiten entfalten keine Vermutungswirkung im Sinne von § 21 Absatz 6 Nummer 1 BetrSichV.

A4.1 Allgemeines

Der wahre Wert einer Größe entspricht in der Regel nicht dem gemessenen oder berechneten Wert. Messung oder Berechnung werden durch die Angabe einer Unsicherheit legitimiert.

Die Unsicherheit kennzeichnet den Wertebereich um den Messwert herum, innerhalb dessen der wahre Wert sich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit befindet. Systematische Abweichungen werden hier nicht berücksichtigt, da diese korrigiert werden können. Es werden bei der Messunsicherheitsanalyse nur zufällige Einflüsse auf die Größe des Messergebnisses einbezogen. Oft kann man bei der statistischen Verteilung der zufallsbeeinflussten Messergebnisse von einer Normalverteilung ausgehen, da viele statistisch unabhängige Einflüsse auf die Messunsicherheit einwirken. Die Standardabweichung (Sigma: σ) dieser Verteilung wird Standardunsicherheit (Abkürzung oft u) genannt. Der wahre Wert liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 68 % im Bereich Messwert $X \pm \sigma$. Um eine höhere Sicherheit zu gewährleisten, wird oft die erweiterte Unsicherheit U verwendet. Meist ist diese so gewählt, dass der wahre Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % im Bereich Messwert $X \pm U$ liegt. Fällt also Messwert plus Unsicherheit auf einen Referenzwert, so wird dieser mit einer Wahrscheinlichkeit von 97,5 % eingehalten. Das bedeutet, dass der wahre Wert der gemessenen Größe mit einer Wahrscheinlichkeit von 2,5 % den Referenzwert überschreitet.

Die Angabe eines gemessenen bzw. berechneten Wertes allein ohne Aussagen zur erweiterten Unsicherheit ist nicht ausreichend, da keine Information über die Qualität der Messung vorliegt. In die Kalkulation der erweiterten Unsicherheit sind alle relevanten Beiträge mit einzubeziehen, insbesondere auch die Unsicherheit der Probennahme (Wiederholbarkeit der Messung). Dies bedeutet in der Praxis, dass Messwert plus erweiterte Messunsicherheit den heranzuziehenden Referenzwert (ALS, Schwellenwert oder EGW) nicht überschreiten darf (additiver Ansatz).

Für die Praxis sind daher die Art der Verteilung, die Standardunsicherheit, der angewendete Vertrauensbereich und der Wert für die daraus resultierende erweiterte Unsicherheit wichtig. Standardunsicherheit u und erweiterte Messunsicherheit U können über einen Erweiterungsfaktor k verknüpft werden:

$$U = k \cdot u$$

GI. A4.1

Der Faktor k hängt von der Art der Verteilung und des gewählten Vertrauensintervalls ab. Für ein Vertrauensintervall von 95 % und eine Normalverteilung liegt dieser Faktor bei 1,96 (oft auch gerundet angegeben, dann 2).

Generell wird empfohlen, schon bei der Beschaffung von Geräten und Software von dem Hersteller eine Angabe zu Unsicherheit, Verteilung und angewendetem Vertrauensintervall zu verlangen. Hilfreich kann hier ein Verweis auf die DIN EN 50413:2009 sein. Bei Angabe von Unsicherheiten einzelner Bauelemente oder Komponenten in einem System alleine kann die Bestimmung einer Gesamtunsicherheit schwierig werden. In diesem Fall sollte der Hersteller eine Gleichung angeben, wie diese insgesamt zu berücksichtigen sind.

Unsicherheiten, die ohne statistische Methoden ermittelt werden (z. B. Angaben in Kalibrierscheinen) werden als Typ-B-Unsicherheit bezeichnet. Erfolgt die Ermittlung auf Basis einer statistischen Analyse statistisch unabhängiger Messwerte, so handelt es sich um eine Typ-A-Unsicherheit. Letzteres Verfahren kann angewandt werden, wenn über das zu verwendende Messgerät (inklusive Sonden, Verbindungsleitungen) keine Informationen zur Messunsicherheit zur Verfügung stehen.

In den beiden folgenden Abschnitten wird auf den Umgang mit Unsicherheiten bei Messungen und Berechnungen eingegangen. Zur Vertiefung sei auf den Leitfaden EA-4/02 M verwiesen.

A4.2 Messunsicherheit

Die Messunsicherheit wird üblicherweise als relative Größe in Prozent (%) oder Dezibel (dB) angegeben. Die Einheit dB setzt immer zwei Leistungen (P_1, P_2) oder Feldstärken (E_1, E_2) ins Verhältnis zueinander; für exemplarische Umrechnungen siehe Tabelle A4.1. Die Größe im Nenner muss bekannt sein:

$$U[\text{dB}] = 10 \lg \left(\frac{P_1 [\text{W}]}{P_2 [\text{W}]} \right) \quad \text{Gl. A4.2}$$

bzw.

$$U[\text{dB}] = 20 \lg \left(\frac{E_1 \left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right]}{E_2 \left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right]} \right) \quad \text{Gl. A4.3}$$

Tab. A4.1 Umrechnung von dB in Verhältnis von Feldstärke- bzw. Leistungswerten

Wert [dB]:	-1	1	3	6	10
Wert E_1/E_2 :	0,9	1,1	1,4	2	3,2
Wert P_1/P_2 :	0,8	1,3	2	4	10

Hinweis: Die elektrische Feldstärke E wurde hier als Beispiel für lineare Größen gewählt. Die angegebenen Zahlenwerte sind auf die erste Nachkommastelle gerundet worden.

Messunsicherheiten können durch verschiedene Faktoren entstehen, z. B.:

1. messgerätbedingte Faktoren (Frequenzgang, Amplitudengang, Isotropie),
2. kalibrierungsbedingte Beiträge,
3. Messort,
4. Messumgebung (z. B. Temperatur),
5. Zugänglichkeit des Messortes,
6. Lastschwankungen der EMF-Quelle und
7. Weiterverarbeitung der Daten direkt im Messgerät (Berechnungsunsicherheit, z. B. automatische Bildung des Expositionsquotienten).

Folgende Fehler können nicht mittels Messunsicherheit quantifiziert werden und müssen somit bei der Durchführung von Messungen vermieden werden:

1. Antennenwirkung von Anschlussleitungen,
2. ungenügende Einstrahlfestigkeit des Gerätes,
3. Störung des Feldes oder Messgerätes, z. B. durch andere Personen, die bei der Messung zugegen sind oder die Messperson während der Ablesung des Messergebnisses,

4. Ablesefehler,
5. zeitliche Einflussgrößen auf den Messwert und
6. Abtastrate des Messgerätes.

Darauf aufbauend werden unterschieden:

1. zufällige oder statistische Messabweichungen:
 - a) treten unregelmäßig auf und resultieren in unvorhersehbaren Schwankungen in Größe und Vorzeichen,
 - b) entstehen durch nicht zu beeinflussende unsystematische Änderungen der Messbedingungen (z. B. Umgebung) und durch subjektive Messwertaufzeichnung (z. B. Ablesefehler),
 - c) Minimierung durch Mehrfachmessung und Bildung des arithmetischen Mittelwertes möglich (Abweichung kann als normalverteilte Zufallsgröße angesehen werden) und
2. systematische Messabweichungen:
 - a) beeinflussen das Messergebnis bei gleichem Messaufbau einseitig und in der gleichen Weise,
 - b) entstehen z. B. durch Unvollkommenheit des Messverfahrens, des Messgerätes,
 - c) Minimierung durch Berücksichtigung der bekannten systematischen Messabweichung möglich.

Einige der oben genannten Faktoren lassen sich durch präzises und sorgfältiges Arbeiten und Nutzen eines Messgeräts nach dem Stand der Technik minimieren. Praktisch können nie alle Einflüsse erfasst und beziffert werden. Es sollten jedoch alle entscheidenden Beiträge berücksichtigt werden. Für die Bestimmung einer Gesamtmessunsicherheit kann eine Tabelle mit dem Gesamtmessunsicherheitsbudget aufgestellt werden (siehe DIN EN 50413:2009 Anhang C). In ihr werden Unsicherheitsbeiträge für die verwendete Technik oder auch Wiederholbarkeit berücksichtigt. Häufige Quelle für die benötigten Informationen ist der Kalibrierschein des verwendeten Messgerätes (Typ-B-Unsicherheit). Zu berücksichtigen ist auch, auf welche Größe sich die Unsicherheit bezieht: Eine Unsicherheit von 10 % in der Feldstärke bedeutet eine Unsicherheit von 1 % in der Leistungsdichte.

Typische Werte für die Messunsicherheit sind in Tabelle A4.2 beispielhaft aufgeführt.

Tab. A4.2 Typische Werte für Messunsicherheiten (erweiterte Messunsicherheit, $k = 2$, normalverteilt, siehe DIN EN IEC 62822-1:2018 und DIN EN 50413:2009);
Erläuterung: Wiederholbarkeit berücksichtigt die zufällige Unsicherheit durch die messende Person
Hinweis: Werte sind nur informativ und ersetzen nicht die Ermittlung der eigenen Unsicherheit

Frequenzbereich	Elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte
NF, mit $0 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ kHz}$	ca. 58 % (einschließlich Wiederholbarkeit)
NF, mit $10 \text{ kHz} \leq f < 1 \text{ MHz}$	ca. 41 % (einschließlich Wiederholbarkeit)
NF, mit $1 \text{ MHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$	ca. 41 % (einschließlich Wiederholbarkeit)
HF, mit $100 \text{ kHz} \leq f < 300 \text{ GHz}$	ca. 27 % (Feldstärkemessung, ohne Wiederholbarkeit) ca. 40 % (Feldstärkemessung, einschließlich Wiederholbarkeit)

Bei den hier angegebenen Werten handelt es sich um typische Werte. Sie dienen lediglich als Orientierung, welche Werte in etwa erreicht werden können. Im Frequenzbereich mit $1 \text{ Hz} < f < 10 \text{ Hz}$ sowie bei $f > 6 \text{ GHz}$ fallen diese typischerweise etwas größer aus.

A4.3 Berechnungsunsicherheit

Auch bei der Verwendung von Simulations- und Berechnungsprogrammen ist prinzipiell eine Unsicherheit zu berücksichtigen. Wesentliche Unsicherheiten liegen in der Numerik, der Modellierung der Expositionsquelle, dem Körpermodell (Form, Abmessungen), dem Gewebe und den Materialeigenschaften. Beispielsweise kann die fehlende Berücksichtigung eines Bodenprofils oder die Wahl eines zu groben Rastermaßes für die Berechnung zu Abweichungen der Ergebnisse gegenüber der realen Situation führen. Diese Schwächen in der Modellierung sind oft schwer zu quantifizieren. Bei Berechnungen sollte das verwendete Modell dokumentiert sein, sodass Abweichungen von der realen Expositionssituation nachvollzogen werden können. Am Markt verfügbare Programme erreichen Werte bezüglich der Unsicherheit der Numerik in der Größenordnung von kleiner als 2 %. Eine von der Realität abweichende Modellierung ist hier nicht mitberücksichtigt.

Werden Messergebnisse im Rahmen der Bewertung mit Berechnungsverfahren weiterverarbeitet, z. B. im Frequenzbereich von $100 \text{ kHz} < f < 10 \text{ MHz}$ mit der Methode der gewichteten Spitzenwerte oder der Zeitbereichsmethode, müssen die bei der Anwendung der Berechnungsverfahren individuell auftretenden Berechnungsunsicherheiten quantifiziert werden.

Wird in einem Programm zur Berechnung oder Simulation eine gemessene Größe verwendet und wurde diese mit einer Unsicherheit größer Null bestimmt, so muss diese auch zusätzlich zur Messunsicherheit des Programms berücksichtigt werden. Macht der Hersteller der Software keine Aussage, wie sich eine Unsicherheit einer Eingangsgröße auf das Messergebnis auswirkt, soll im Sinne der Fehlerfortpflanzung die gemessene Größe plus oder minus der Unsicherheit als Eingangsgröße für das Programm verwendet werden. Ob die Unsicherheit addiert oder abgezogen werden muss, hängt davon ab, ob das Ergebnis damit konservativer bestimmt wird. Es ist der konservativere Weg zu wählen, bei dem von einer höheren Sicherheit auszugehen ist.

A4.4 Berechnung der Gesamtunsicherheit

Gehen verschiedene Messergebnisse in das Gesamtergebnis ein, so kann die Gesamtmessunsicherheit bei einfachen mathematischen Operationen anhand der nachfolgend aufgeführten Schritte bestimmt werden:

1. Das Ergebnis y einer Berechnung ist durch die Modellfunktion f gegeben. Diese Funktion hängt von den Messgrößen x_i ab:

$$y = f(x_1, \dots, x_i \dots) \quad \text{Gl. A4.4}$$

2. Zu jeder Messgröße gibt es eine Standardmessunsicherheit: u_i
3. Zur Berechnung der Gesamtmessunsicherheit werden die partiellen Ableitungen der Funktion nach den einzelnen Messgrößen benötigt:

$$c_i = \frac{\partial f(\dots, x_i \dots)}{\partial x_i} \quad \text{Gl. A4.5}$$

4. Für jede Messgröße ergibt sich zu dem Ergebnis der Messung y ein Unsicherheitsbeitrag:

$$u_i(y) = c_i u(x_i) \quad \text{Gl. A4.6}$$

5. Die kombinierte Unsicherheit $u(y)$ ergibt sich dann aus:

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)} \quad \text{Gl. A4.7}$$

Beispiel: Addition zweier Größen

$$f(x_1, x_2) = 3x_1 + 4x_2, \quad \text{Gl. A4.8}$$

mit Gl. A4.5 folgt $c_1 = 3$ und $c_2 = 4$

$$u^2(y) = 9u_1^2 + 16u_2^2 \quad \text{Gl. A4.9}$$

$$u(y) = \sqrt{9u_1^2 + 16u_2^2} \quad \text{Gl. A4.10}$$

Beispiel: Multiplikation zweier Größen

$$f(x_1, x_2) = 3x_1x_2, \quad \text{Gl. A4.11}$$

mit Gl. A4.5 folgt $c_1 = 3x_2$ und $c_2 = 3x_1$

$$u^2(y) = 9x_2^2u_1^2 + 9x_1^2u_2^2 \quad \text{Gl. A4.12}$$

$$u(y) = \sqrt{9x_2^2u_1^2 + 9x_1^2u_2^2} \quad \text{Gl. A4.13}$$

Bei komplexen Berechnungen gilt das beschriebene Vorgehen zwar auch, jedoch können die dafür benötigten partiellen Ableitungen meist nur numerisch bestimmt werden. Voraussetzung ist ein lineares oder linearbasiertes Modell für nicht korrelierte Eingangsgrößen.

Anhang 5: Ergänzungen zu Verfahren zum Nachweis der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte

Die hier aufgeführten Ergänzungen zu Verfahren zum Nachweis der Einhaltung der EGW entfalten keine Vermutungswirkung im Sinne von § 21 Absatz 6 Nummer 1 BetrSichV.

A5.1 Angaben für einen Nachweis zur Einhaltung der EGW

In der Regel wird vor der Erbringung eines Nachweises zur Einhaltung der EGW eine Messung der EMF durchgeführt. Das Ergebnis der Messung wird in einem Messbericht dokumentiert. Die Angaben aus dem Messbericht müssen in diesen Nachweis mit einfließen, wenn Messdaten zur Durchführung einer analytischen oder Simulationsberechnung genutzt werden. Die folgenden Angaben sind in einem Nachweis zur Einhaltung enthalten:

1. Unternehmen, Betreiber, Standort,
2. Ort, Datum,
3. Ziel der Nachweisführung,
4. Bewertungsgrundlagen:
 - a) (Beschäftigte oder Allgemeinbevölkerung),
 - b) besonders schutzbedürftige Beschäftigte (z. B. Träger aktiver Implantate),
 - c) weitere Dokumente (Produktnormen, Hinweis aus dem Benutzerhandbuch),
5. Spezifikation der Feldquelle (emittierende Anlage bzw. Gerät):
 - a) Art der Anlage (Beschreibung der Anlage),
 - b) Bilder, Skizzen zur Feldquelle,
 - c) Seriennummer,
 - d) Baujahr,
 - e) Beschreibungen und Erläuterungen zur Feldquelle, insbesondere zur Arbeits- oder Verfahrensweise, Einbausituation/Einbaulage,
 - f) Angaben zu verschiedenen Betriebszustände,
 - g) Software- und Firmware-Versionen, durch die die Erfüllung der grundlegenden Anforderungen beeinflusst wird,
 - h) ggf. Auflistung von Einzelkomponenten, falls diese in der Feldquelle variieren können,
 - i) Informationen zum Leistungsregler, Nutzerinformationen und Installationshinweise,
 - j) Frequenz unter Beachtung der Betriebszustände,
 - k) Frequenzangaben zu den erzeugten Arbeitsfrequenzen und Oberwellen,
 - l) zeitliche Signalverläufe,
 - m) maximales Leistungsvermögen der Feldquelle,
 - n) Worst-Case-Szenarien angeben,
 - o) Exposition bei bestimmungsgemäßem und vorhersehbarem Gebrauch,
 - p) Bewertung zugrundeliegender Betriebsbedingungen,
6. Expositionssituation am Arbeitsplatz:
 - a) tatsächliche Arbeitssituationen realistisch beschreiben,
 - b) geometrische Beschreibung der Aufenthaltsorte der exponierten Personen (Betrachtung der vorhersehbaren Aufenthaltsorte mit minimalen Abständen zur Feldquelle in Abhängigkeit der Betriebszustände),
 - c) Zugangsbeschränkungen,
 - d) Bezugsmessgröße an der Anlage definieren und benennen (Ort und Feldgröße, Strom) zur Verifikation, ob dieser Nachweis zur physischen Anlage anwendbar ist,

7. Methode des Nachweises:

- a) Erläuterung der Methodik (Messung, analytisch, Simulation),
- b) verwendete Softwareanwendung (Hersteller, Solver, Version),
- c) verwendete Körpermodelle (Name, Hersteller, Version, Auflösung des Modells, Gewebeparameter),
- d) technische Beschreibung des Quellenmodells,
- e) geometrische Beschreibung (räumliche Auflösung der Berechnung),
- f) feldrelevante Parameter (Windungszahl, Stromstärke, Erdung),
- g) Verifikation der Modellrechnung durch einen Abgleich der Feldverteilung im Modell zu der realen Feldquelle (Angaben über eine Bezugsmessgröße mit genauen Ortsangaben),
- h) Abweichungen und Übereinstimmungen sollten beschrieben werden,
- i) Darstellungen der Arbeitspositionen des Körpermodells zur Feldquelle im Modell,
- j) Darstellung der Berechnungsergebnisse (Darstellung der internen Gewebefeldstärken im Körpermodell),
- k) Beschreibung der Auswertemethodik (Voxel, Perzentile, Umgang mit Artefakten),
- l) maximale interne elektrische Feldstärke und Ort des Auftretens,
- m) Ergebnisse müssen mit den Bewertungsgrundlagen bewertet werden (die Beurteilung muss sämtliche vernünftigerweise vorhersehbare Betriebsbedingungen berücksichtigen),
- n) dem Prüfprotokoll muss entnommen werden können, ob und ggf. wo die ALS bei Exposition am Arbeitsplatz des Beschäftigten beim bestimmungsgemäßen Gebrauch überschritten wird,
- o) wenn Anlagen im öffentlichen Bereich stehen, sind auch diese Expositionen zu berücksichtigen,

8. Bewertung und Maßnahmen:

- a) Unsicherheit,
- b) Zusammenfassung und Erläuterung der Ergebnisse,
- c) Erläuterungen zu erforderlichen Maßnahmen,
- d) Fristen für die regelmäßige Überprüfung der Bezugsmessgröße an der Anlage,
- e) Fristen für die regelmäßige Überprüfung, ob die betrachteten Arbeitspositionen gültig sind.

A5.2 Beispiel: Nachweis zur Einhaltung der EGW an elektronischen Artikelsicherungssystemen

Elektronische Artikelsicherungsanlagen (EAS-Anlagen) sind im Handel zum Diebstahlschutz weit verbreitet. EAS-Anlagen bestehen aus einem Antennensystem im Eingangsbereich, Deaktivierungseinrichtungen an der Kasse sowie dem Sicherungsmittel, das am Produkt befestigt ist. Das Funktionsprinzip basiert auf der Nutzung von EMF. Im Wesentlichen unterscheidet man bei den EAS-Systemen die Hochfrequenzsysteme, zu denen die radiofrequenten Verfahren zählen und die Niederfrequenzsysteme, die auf dem elektromagnetischen Verfahren oder dem akustomagnetischen Verfahren basieren.

Bei den Antennensystemen sind Überschreitungen der ALS in der nahen Umgebung möglich. In Fällen, in denen die Messwerte die ALS überschreiten, kann dennoch die EAS-Anlage weiter betrieben werden, wenn der Nachweis erbracht wird, dass die EGW gemäß Abschnitt 9 eingehalten werden. Der Nachweis zur Einhaltung der EGW entbindet jedoch nicht davon, dass sicheres Arbeiten unter allen sinnvoll anzunehmenden Umständen gewährleistet sein muss. Das kann bedingen, dass die EGW nur bei Berücksichtigung von Mindestabständen eingehalten werden können. Es gilt die Maßnahmenhierarchie entsprechend dem STOP-Prinzip (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.39).

Hinweis: Für den Bevölkerungsschutz kann die EU-Ratsempfehlung zu EMF 1999/519/EG herangezogen werden. Dieser Nachweis kann unter Berücksichtigung der Expositionssituation auch als Bewertungsgrundlage für Beschäftigte dienen.

Anhang 6: Berechnungsbeispiele für die Bewertung von EMF-Quellen mit nicht konstanter Leistungsabgabe

Die hier aufgeführten Berechnungsbeispiele für die Bewertung von EMF-Quellen mit nicht konstanter Leistungsabgabe entfalten keine Vermutungswirkung im Sinne von § 21 Absatz 6 Nummer 1 BetrSichV.

Zur Veranschaulichung der leistungsbezogenen Mittelung werden zwei beispielhafte Bewertungen durchgeführt.

A6.1 HF-Schweißanlage

Eine HF-Schweißanlage arbeitet mit einer Frequenz von $f = 27,12$ MHz, Schweißzeit $t_{\text{Schweiß}} = 1$ s und anschließenden Pausenzeit von $t_{\text{Pause}} = 10$ s. Am Arbeitsplatz wurde eine elektrische Feldstärke von $E_{\text{eff}} = 184$ V/m gemessen. Ist diese elektrische Feldstärke zulässig?

Lösung:

Für $f = 27,12$ MHz beträgt die einzuhaltende ALS nach Anhang 1 Tabelle A1.21 $E_{\text{eff}} = 61,4$ V/m (Effektivwert der elektrischen Feldstärke). Es gelten Anmerkung 2 Bedingung 1 ($T_{\text{Mittelung}} = 6$ min) und Anmerkung 4 Bedingung 2.

Ein Schweißzyklus dauert $T_{\text{Schweiß}} = 11$ s.

Bei einer Mittelungszeit von $T_{\text{Mittelung}} = 6$ min = 360 s entspricht das einer Häufigkeit von $n = 360 \text{ s} / 11 \text{ s} = 32,7 \approx 33$ Schweißzyklen, da die nächste Schweißzeit noch vollständig in die Mittelungszeit fällt.

Mit einer Schweißzeit von $t_{\text{Schweiß}} = 1$ s ergibt sich eine Expositionszeit von $T_{\text{exp}} = 33$ s.

Die leistungsbezogene Mittelung ergibt mittels

$$\hat{E}_{\text{Mittel}} = \sqrt{\frac{T_{\text{exp}}}{T_{\text{Mittelung}}} E_{\text{eff}}^2} = \sqrt{\frac{33 \text{ s}}{6 \cdot 60 \text{ s}} \cdot 184^2 \frac{\text{V}^2}{\text{m}^2}} = 55,7 \frac{\text{V}}{\text{m}} \leq 61,4 \text{ V/m}.$$

Überprüfung der Einhaltung von Anmerkung 4 Bedingung 2:

Aus $E_{\text{eff}} = 184$ V/m und

$$E_{\text{eff}} \leq 32 \cdot \text{ALS} = 32 \cdot 61,4 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 1965 \text{ V/m} \text{ folgt } 184 \text{ V/m} \leq 1965 \text{ V/m} \text{ ist wahr.}$$

Eine $E_{\text{eff}} = 184$ V/m ist zulässig, da beide Bedingungen eingehalten werden.

Hinweis: Für eine umfassende Bewertung der Zulässigkeit der Exposition im Nahfeld der HF-Schweißanlage im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung nach EMFV sind zusätzlich die magnetische Feldstärke (oder alternativ zur separaten Betrachtung von E und H die Leistungsdichte S) und die in den Gliedmaßen induzierten Ströme zu bewerten.

A6.2 Wetterradar

Auf dem Dach eines Hochhauses befindet sich ein Wetterradar, das folgende technische Spezifikationen aufweist.

Frequenz	12 GHz
max. Pulsleistung	300 kW
Mittlere Sendeleistung	150 W
Pulswiederholfrequenz (PRF)	250 Hz
Pulsdauer (PW)	2 μ s
Öffnungswinkel der Antenne φ	4,03°
Umdrehungsgeschwindigkeit der Antenne	3 Umdrehungen pro Minute (d. h. $t_{\text{rot}} = 20$ sec und $f_{\text{rot}} = 0,05$ Hz)

Im Bereich der Hauptstrahlrichtung befindet sich im Abstand von 50 m ein Arbeitsbereich, der für die Durchführung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an Installationen auf dem Dach betreten werden muss.

Während eines Umlaufes der Antenne beträgt die Verweildauer des Arbeitsplatzes im Hauptstrahl des Radarsystems

$$t_{\text{verweil}} = \frac{\varphi}{360^\circ} \cdot t_{\text{rot}} = 223 \text{ ms.}$$

Während dieser Zeit wurde am Arbeitsplatz eine über das Puls-Pausenverhältnis gemittelte Leistungsdichte von $S_{\text{Mittel}} = 2 \mu\text{s}/4 \text{ ms} = 80 \text{ W/m}^2$ gemessen.

Da die Betriebsfrequenz $f > 10 \text{ GHz}$ ist, darf die durch das Puls-Pausenverhältnis gemittelte Leistungsdichte über eine Zeitdauer von $T_{\text{Mittelung}} = \frac{68}{f_{1,05}} = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$ gemittelt werden, wobei in der Formel f in GHz einzusetzen ist.

Innerhalb von 5 Minuten erfolgen 15 Umdrehungen des Radars, mit einer Gesamtexpositionszeit von $t_{\text{expo,gesamt}} = \text{Umdrehungen} \cdot t_{\text{verweil}} = 15 \cdot 223 \text{ ms} = 3,345 \text{ s}$.

Somit ist folgender Vergleich anzustellen:

$$\bar{S} = \frac{T_{\text{exp}}}{T_{\text{Mittelung}}} S_{\text{Mittel}} = \frac{3,345 \text{ s}}{300 \text{ s}} \cdot 80 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 892 \frac{\text{mW}}{\text{m}^2} \ll 50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (\text{Anhang 1 Tabelle A1.21})$$

Bei alleiniger Betrachtung der mittleren Immission (gemittelte Leistungsdichte) wäre die Exposition als zulässig anzunehmen.

Hinweis: Diese zweite Mittelung über fünf Minuten ist jedoch grundsätzlich nur dann zulässig, wenn bei der immissionsverursachenden Radaranlage sichergestellt ist, dass bei Ausfall des Antennenantriebs (d. h., der Arbeitsplatz verbleibt im Extremfall permanent im Hauptstrahl der Antenne) automatisch auch der Sender abgeschaltet wird und damit eine Befeldung des Arbeitsplatzes über längere Zeiträume, als oben im Mittel über fünf Minuten angenommen, unterbunden wird.

Nach Anmerkung 4 zu Anhang 1 Tabelle A1.21 ist aber auch die über einen Radarimpuls (Impulsbreite, Dauer 2 μ s) gemittelte Leistungsdichte S_{max} zu überprüfen. Diese darf für den vorliegenden Fall den tausendfachen Wert der anzuwendenden ALS (= 1 000 \cdot 50 W/m² = 50 kW/m²) nicht überschreiten.

Unter Berücksichtigung der technischen Daten des Radars folgt für S_{max}

$$S_{\text{max}} = \frac{S_{\text{Mittel}}}{\text{PW} \cdot \text{PRF}} = 160 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} > 50 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}.$$

Aufgrund dieses zweiten Kriteriums muss die Exposition als unzulässig angesehen werden.

Anhang 7: Ergänzungen zur Bewertung von EMF-Quellen mit nicht konstanter Leistungsabgabe

Die hier aufgeführten Ergänzungen zur Bewertung von Radaranlagen entfalten keine Vermutungswirkung im Sinne von § 21 Absatz 6 Nummer 1 BetrSichV.

A7.1 Radaranlagen

A7.1.1 Allgemeines

Mit „RADAR“ (RADio Detection And Ranging) werden Verfahren der Funkortung bezeichnet, bei denen elektromagnetische Signale vom Radarsender ausgestrahlt und ihre Reflexionen an Objekten vom Radarempfänger wieder empfangen werden. Aus diesen Reflexionen kann dann beispielsweise auf die Lage (Entfernung, Richtung, Höhe), die Beschaffenheit oder die Bewegung der Objekte geschlossen werden. Bei Erzeugung des RADAR-Signals kann auch Röntgenstrahlung entstehen. Diese ist nicht Gegenstand der TREMF HF.

Die Anwendungsmöglichkeiten der Radartechnik sind zu Land, zu Wasser und in der Luft sehr vielfältig. Die Radartechnik wird beispielsweise angewendet, um den Luftverkehr zu kontrollieren und zu sichern. Radarsysteme finden sich auch an Wasserstraßen und auf Schiffen, vermehrt werden sie auch in Kraftfahrzeugen eingesetzt (Hinderniswarnung, Adaptive Cruise Control).

Aus dem Betrachtungswinkel der Arbeitssicherheit besonders relevant sind Radarsysteme der zivilen und militärischen Flugsicherung, der militärischen Flugabwehr, auf Schiffen sowie die Wasserstraßenradare an Küsten und Flüssen, da diese Anlagen häufig besonders große Leistungen absenden bzw. Personen den Antennen sehr nahekommen können. Radaranwendungen im Kfz-Bereich sind aufgrund ihrer geringen abgestrahlten Leistung für die Arbeitssicherheit im Vergleich dazu eher von untergeordneter Bedeutung, es sei denn, am Arbeitsplatz kumulieren sich die Felder einer größeren Anzahl derartiger Kleinleistungs-Radarmodule.

Je nach Aufgabe verwenden Radaranlagen sehr unterschiedliche Sendefrequenzen (typisch: $f > 1$ GHz), Signalformen, Antennentypen und Raumabastungsverfahren. Daher stellt die korrekte Bestimmung der HF-Exposition von Personen in der Umgebung von Radaranlagen häufig eine vergleichsweise große Herausforderung dar. Eine erschöpfende Darstellung der korrekten Expositionsanalyse bei allen klassischen Typen von Radaranlagen würde den Umfang dieser technischen Regeln sprengen. Im Folgenden werden daher nur einige wichtige Anmerkungen für die Bewertung der Exposition gegenüber Radarsignalen gegeben, die für die Expositionsbestimmung besonders wichtig sind, da deren Nichtbeachtung zu einer signifikanten Unterbewertung der Exposition führen kann.

Grundsätzlich gilt bei der Bewertung von Radaranlagen, dass eine korrekte Immissionsermittlung nur in enger Zusammenarbeit mit dem Anlagenbetreiber möglich ist, da sehr viele Parameter der Anlage bekannt sein müssen und z. B. bei Messungen die Anlagen unter Umständen in einen besonderen definierten Betriebszustand gebracht werden müssen, der eine Worst-Case-Bewertung ermöglicht.

Bei der Messung pulsmodulierter Felder mit Frequenzen von $f > 300$ MHz mit Thermokoppler-Feldsonden, insbesondere an Radaranlagen, sollte 1/10 des maximalen Messbereichs nicht überschritten werden, da die Impuls-Spitzenleistung den Detektor zerstören kann (Warnhinweis des Herstellers beachten!). Das gilt auch für Messungen mit Kombinationen aus Höchsthochfrequenz-Leistungsmessern und angepassten Antennen, sofern nicht zum Schutz des Leistungsmesskopfes und zur Messbereichserweiterung zwischen Antenne und Leistungsmesskopf Dämpfungsglieder geschaltet wurden.

A7.1.2 Art der Leistungsabstrahlung

Je nach Aufgabenstellung werden entweder Dauerstrich-(CW) oder Pulsradaranlagen eingesetzt. Bei Pulsradaranlagen ist es zulässig, über das Tastverhältnis T_t mit $(T_t = \frac{T_{\text{Puls}}}{T_{\text{Periode}}})$ der Abstrahlung den Sechs-Minuten-Mittelwert der Immission zu ermitteln (siehe Abschnitt 8). Dieser ist bei vielen Pulsradaranlagen deutlich kleiner als die über die Dauer des Impulses gemittelte Immission.

A7.1.3 Art der Raumabtastung

Es existieren in der Radartechnik eine Vielzahl von möglichen Raumabtastungsverfahren, in horizontaler Ebene beginnend bei einer fest ausgerichteten Antenne (d. h., die horizontale Hauptsenderichtung ändert sich zeitlich nicht; Beispiel: Geschwindigkeitsüberwachungsgerät), über einen Sektorscan, hin zu der besonders häufig anzutreffenden 360°-Azimutabtastung (z. B. bei Radaranlagen der Flugsicherung). Vertikal existieren ebenfalls die feste Antennenausrichtung und der Sektorscan, aber auch die allmähliche Änderung des Elevationswinkels der Abstrahlung während eines Zeitraums von mehreren 360°-Antennenumdrehungen (z. B. bei Wetterradarsystemen). Besonders flexibel wird die Raumabtastung bei Einsatz von Antennen mit elektronischer Strahlschwenkung („Phased Array Antennen“). Die Raumabtastung kann hier sehr flexibel eingestellt werden, was insbesondere die korrekte Erfassung des Worst-Case-Szenarios erschweren kann.

Die Art der Raumabtastung führt gegebenenfalls zu einer zusätzlichen Mittelung der Exposition. Grundsätzlich ist dies für Orte in der Nähe von Antennen mit zeitlich ändernder Hauptsenderichtung gegeben, da Personen dann nicht permanent den Radarsignalen ausgesetzt sind. Allerdings ist dies nur dann gegeben, wenn sichergestellt ist, dass die Sendeleistungsabstrahlung bei Abschaltung der Raumabtastung ebenfalls zuverlässig unterbrochen wird, sodass keine dauerhafte Exposition von Personen möglich ist. In diesem Fall kann die mittlere Immission über den prozentualen Anteil der Zeit, in der die Person während der Mittelungszeit ($t = 6 \text{ min}$) vom Radarsignal exponiert wird, bestimmt werden.

Zur Bestimmung des Mittelungsfaktors werden oft die horizontalen bzw. vertikalen Keulengreiten der Radarantenne benötigt. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass innerhalb des Nahfeldes der Antenne die in den Betriebsdaten typisch angegebenen Strahlbreiten (3-dB-Öffnungswinkel) noch nicht ausgebildet sind, sondern wesentlich größere Öffnungswinkel vorliegen. Da sich die für die Arbeitssicherheit relevanten Aufenthaltsbereiche um Radarantennen jedoch meist im Nahfeld der Antenne befinden, kann eine Mittelwertbildung unter Verwendung der Fernfeldantennenparameter zu einer erheblichen Unterbewertung der Immission führen.

Messtechnisch können für die Bestimmung der Felder sowohl Breitband- als auch Selektivmessgeräte (Spektrumanalysatoren mit kalibrierter Messantenne) verwendet werden. Beide Messgerätetypen haben Vor- und Nachteile. Einfacher zu bedienen sind gewöhnlich die Breitbandmessgeräte.

Die Messung von CW-Radarsignalen ist hierbei im Vergleich zur korrekten Erfassung von Pulsradarsignalen deutlich unproblematischer. Bei der Messung der Immissionen von Pulsradarsystem sind hingegen insbesondere folgende Punkte zu beachten:

1. Bei Breitbandmessgeräten ist sicherzustellen, dass die kurzen hohen Pulsleistungen die empfindlichen Detektordioden bzw. Thermolemente in den Sensoren nicht zerstören. Die Hinweise im Datenblatt des Herstellers sind zu beachten. Zerstörte oder beschädigte Sensoren führen meist nicht dazu, dass das Messgerät den Wert Null anzeigt (dies würde deutlich auf das Problem beim Sensor aufmerksam machen), sondern es wird ein zu kleiner Messwert angezeigt, sodass es zu einer nicht bemerkten Unterbewertung der Exposition kommen kann.

2. Zusätzlich ist bei Breitbandmessgeräten mit gleichgerichteten Sonden abzuklären, welche Art von Messergebnis vom Gerät angezeigt wird: Bei nicht zu großen Feldstärken (abhängig vom Sensor) liefert der Sensor direkt den zeitgemittelten Immissionswert (d. h., die Mittelung über das Tastverhältnis wird vom Sensor automatisch korrekt durchgeführt). Eine Anzeige der Pulsfeldstärke ist hier nicht möglich. Bei größeren Feldstärkewerten ist der Sensor nicht mehr in der Lage, die Mittelwertbildung korrekt durchzuführen, die Anzeige nähert sich mehr und mehr der Pulsfeldstärke an, erreicht jedoch nicht unbedingt exakt diesen Wert. Die Hersteller der Messgeräte können oft Informationen bezüglich des genauen Verhaltens ihrer Sonden liefern (z. B. den Feldstärkebereich in dem die korrekte RMS-Mittelung zuverlässig gegeben ist).
3. Im Gegensatz dazu liefern Thermokoppler-Feldsonden unabhängig von der Signalform und der Feldstärke zuverlässig den korrekten leistungsbezogenen Mittelwert der Immission (RMS-Wert).
4. Bei Messungen an spannenden oder rotierenden Antennen ist darauf zu achten, dass das zu messende Radarsignal ausreichend lang von der Sonde erfasst wird. Die mindestens notwendige Integrationszeit des Messgeräts ist dem Handbuch zu entnehmen. Ein Erfassungszeitraum kleiner als die notwendige Integrationszeit führt zu einer Unterbewertung der Immission.
5. Selektivmessgeräte (Spektrumanalysator, Messempfänger) eignen sich gut zur Bestimmung der Pulsfeldstärke und der Analyse des Signals im Zeitbereich („Zero Span“), z. B. zur messtechnischen Bestimmung des Tastverhältnisses. Eine Messung des Radarsignals in der für Spektrumanalysatoren üblichen frequenz aufgelösten Betriebsart („Filter Sweep“) ist nur bei Messungen an Radarantennen ohne weiteres möglich, die keine Rotations- oder Scanbewegungen durchführen.
6. Bei Messungen im Nahbereich der Antennen von Pulsradarsystemen z. B. der Flugsicherung mit Tastverhältnissen in der Größenordnung von 1:1 000 können Pulsfeldstärken im kV/m-Bereich auftreten, ohne dass die mittlere Immission die Vorgaben der EMFV überschreitet. Es muss bei derartigen Messungen daher unbedingt darauf geachtet werden, dass die Messantennen und der Analyzer für den Einsatz in derart starken Feldern spezifiziert sind. Unbedingt zu schützen ist der Eingang des Analysators durch die Verwendung von ausreichend großen Dämpfungsgliedern. Weiterhin ist sicherzustellen, dass keine Falschbewertung der Immission durch eine nicht ausreichende Kabelschirmung erfolgt (Direkteinstrahlung des Radarsignals in das Kabel oder sogar in das Messgerät).
7. Bei Messungen an spannenden oder rotierenden Radarantennen mit Messwertaufnehmern, die mit drei isotropen Dipolen ausgestattet sind und damit sehr einfach eine nahezu isotrope Felderfassung ermöglichen, ist darauf zu achten, dass das zu messende Radarsignal ausreichend lange erfasst wird (die drei Antennen des Sensors werden nacheinander mit dem Analysator verbunden, die Zeit für die komplette Erfassung aller drei Antennensignale liegt bei typisch mindestens 100 ms). Ist aufgrund der Abtastbewegung (z. B. der Rotationsgeschwindigkeit der Radarantenne in Verbindung mit ihrem Öffnungswinkel) eine Erfassungszeit von weniger als 100 ms zu erwarten, sind derartige Antennen nicht für die Messung geeignet. Zudem befinden sich in diesen Antennen meist aktive Komponenten (z. B. elektrisch gesteuerte Halbleiterschalter), die nur vergleichsweise kleine Feldstärkewerte im Bereich von einigen hundert V/m zulassen. In vielen Fällen ist daher die Verwendung einer einachsigen dipolähnlichen Antenne die bessere Wahl.

8. Die Messung des Radarsignals mit einem Spektrumanalysator oder Messempfänger hat unbedingt mit einer ausreichend großen Messbandbreite zu erfolgen. Ansonsten erfolgt eine deutliche Unterbewertung der Immission. Als einfache Faustregel gilt, dass die Messbandbreite mindestens das Zweifache des Kehrwerts der Pulsdauer des Radarsignals sein sollte.
9. Bereits diese wenigen elementaren Hinweise zur Immissionsermittlung bei Radaranlagen geben einen guten Eindruck in die mögliche Komplexität dieser Aufgabenstellung. Da insbesondere bei Radaranlagen großer Leistung die Tätigkeiten in der unmittelbaren Umgebung der Antenne durchaus kritisch zu betrachten sind, sollten Untersuchungen an derartigen Systemen nur von besonders erfahrener Personal in enger Zusammenarbeit mit dem Betreiber vorgenommen werden.

A7.2 OFDM

Im digitalen Rundfunk (DAB, DVB-T2) und Mobilfunk (LTE, 5G, WLAN) wird ein sogenanntes Vielträgerverfahren verwendet (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplex). Hierbei werden die Daten auf einer Vielzahl von dicht benachbarten Trägerfrequenzen übertragen. Jede einzelne Trägerfrequenz wird dabei mit einer Quadraturamplitudenmodulation (QAM) moduliert. Bei diesen Signalen ist ein starker Unterschied zwischen zeitlich konstanter mittlerer Leistung und kurzfristigen Leistungsspitzen (Informationskodierung) im Signal zu beobachten. Der sog. „Crest-Faktor“ beträgt größenordnungsmäßig 10 – 12 dB (maximal das 4-Fache der mittleren Feldstärke). Bei Rundfunksendern muss darüber hinaus beachtet werden, dass üblicherweise mehrere Sender-Signale mit vergleichbarer Leistung auf eine Antenne geschaltet werden. Im abgestrahlten Summensignal ist der Crestfaktor dann durch die Überlagerung der einzelnen Signale nochmals größer. Bei zwei Signalen erhöht er sich um 3 dB, bei vier Signalen sind es 6 dB. Zulässig ist nach Tabelle A3.4 Anmerkung 4 EMFV ein Unterschiedsfaktor zwischen kurzfristiger Spitzenleistung und mittlerer Leistung von 1 000, was 30 dB entspricht. Dieser Wert wird jedoch auch bei Einbeziehung der Summation einzelner Rundfunksignale nicht erreicht. In der Praxis treten Crestfaktoren in der Größenordnung von 10 – 20 dB auf. Sehr wichtig ist die Berücksichtigung des Crestfaktors allerdings bei der Bestimmung der Spitzenwerte des Signals für die Bewertung der Beeinflussung von Implantaten.

Technische Regeln zur Arbeitsschutz- verordnung zu elektromagnetischen Feldern	TREM Elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz	Teil 3: Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung von Gefährdungen durch elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz
---	--	--

Die Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz (TREM HF) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder wieder.

Sie werden vom **Ausschuss für Betriebssicherheit** unter Beteiligung des **Ausschusses für Arbeitsmedizin** ermittelt bzw. angepasst und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Gemeinsamen Ministerialblatt (GMBI) bekannt gegeben.

Diese TREM HF Teil 3 „Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung von Gefährdungen durch elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz“ konkretisiert im Rahmen ihres Anwendungsbereichs die Anforderungen der Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern (EMFV). Bei Einhaltung dieser Technischen Regel kann der Arbeitgeber davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Verordnung erfüllt sind. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz für die Beschäftigten erreichen.

Inhalt

- 1 Anwendungsbereich
 - 2 Begriffsbestimmungen
 - 3 Allgemeines und Rangfolge
 - 4 Vorgehensweise bei der Anwendung der besonderen Festlegungen
 - 5 Substitutionsprüfung, Vermeidung
 - 6 Technische Maßnahmen
 - 7 Organisatorische Maßnahmen
 - 8 Persönliche Maßnahmen
 - 9 Betriebszustände
 - 10 Gestaltung und Einrichtung von Arbeitsplätzen
 - 11 Maßnahmen gegen indirekte Wirkungen
 - 12 Literaturhinweise
- Anhang 1 Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung
- Anhang 2 Betriebsanweisung

1 Anwendungsbereich

(1) Der Teil 3 „Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung von Gefährdungen durch elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz“ der TREMF HF behandelt das Vorgehen bei der Festlegung von Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung von Gefährdungen durch elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz nach dem Stand der Technik, wie es in § 6 EMFV gefordert wird. Die Dokumentation der anzuwendenden Schutzmaßnahmen ist Teil der Gefährdungsbeurteilung (siehe auch Teil 1 dieser TREMF).

(2) Die TREMF HF gilt für elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz. Sie gilt nach § 1 Absatz 2 und 3 EMFV nur für Kurzzeitwirkungen und nicht für vermutete Langzeitwirkungen.

(3) Unabhängig von den in dieser TREMF HF beschriebenen Vorgehensweisen sind vom Arbeitgeber die Beschäftigten oder ihre Interessenvertretung, sofern diese vorhanden ist, aufgrund der einschlägigen Vorschriften zu beteiligen.

2 Begriffsbestimmungen

In diesem Teil 3 „Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung von Gefährdungen durch elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz“ der TREMF HF werden Begriffe so verwendet, wie sie im Teil „Allgemeines“ der TREMF HF erläutert sind.

3 Allgemeines und Rangfolge

(1) Ergibt die Bewertung der ermittelten Exposition nach § 3 EMFV und Teil 2 dieser TREMF, dass eine Überschreitung der ALS oder der EGW nach Teil 2 Anhang 1 nicht ausgeschlossen werden kann, dann sind nach den §§ 3, 6 und 15 – 17 EMFV Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdung von Beschäftigten durch EMF nach dem Stand der Technik festzulegen und durchzuführen.

(2) Bei der Festlegung und Durchführung der Schutzmaßnahmen ist gemäß § 6 EMFV die Rangfolge des STOP-Prinzips zu berücksichtigen (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.39).

(3) Wenn Sofortmaßnahmen die Exposition unter die ALS absenken sollen, haben Schutzmaßnahmen, die sich schnell durchführen lassen, eine höhere Priorität.

(4) Kollektive Schutzmaßnahmen haben nach § 4 ArbSchG Vorrang vor individuellen.

(5) Die Gefährdungen durch EMF sind vorrangig an der Quelle zu verhindern oder auf ein Minimum zu reduzieren. Bei der Anwendung von Schutzmaßnahmen müssen die ALS, die nicht von EGW abgeleitet sind, nach Anhang 3 EMFV eingehalten werden.

(6) Ergibt die Bewertung der ermittelten Exposition, dass auch Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen nicht auszuschließen sind, dann sind Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik vorzusehen, die indirekte Gefährdungen nach Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.20 ausschließen oder minimieren.

(7) Nach Durchführung der Maßnahmen muss ihre Wirksamkeit z. B. durch Messung oder Berechnung dokumentiert werden.

(8) Zur Vermeidung oder Verringerung von Gefährdungen durch EMF sind EMF-Quellen nach den Angaben des Wirtschaftsakteurs nach § 2 Nummer 29 ProdSG unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung bestimmungsgemäß zu verwenden.

(9) Die Durchführung der Schutzmaßnahmen erfolgt nach dem Stand der Technik (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.38).

(10) Die Durchführung der abgeleiteten Maßnahmen setzt das Durchsetzungsrecht dieser Maßnahmen voraus.

Hinweis: Es wird empfohlen, im Vorfeld zur Durchführung einer Maßnahme zu klären, ob diese tatsächlich durchführbar ist.

4 Vorgehensweise bei der Anwendung der besonderen Festlegungen

(1) Liegt eine Überschreitung der ALS oder EGW nach Anhang 3 der EMFV vor, so sind die in den nachfolgenden Unterabschnitten aufgeführten Punkte in Verbindung mit §§ 15 – 17 EMFV zu erfüllen.

(2) Die praxisgerechte Vorgehensweise orientiert sich dabei an der Reihenfolge des STOP-Prinzips (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.39). Unabhängig von den gewählten Maßnahmen müssen die sich aus §§ 15 – 17 EMFV ergebenden Forderungen (Einhaltung von Grenzwerten, Ausschluss von Gefährdungen durch direkte und indirekte Wirkung etc.) erfüllt werden.

Hinweis: Es wird empfohlen, sich im Vorfeld zur Durchführung technischer Maßnahmen über deren Durchführbarkeit, die ausreichende Wirksamkeit der gewählten Maßnahme und deren Bedeutung für die Arbeitsweise zu informieren.

4.1 Überschreitung der Auslöseschwellen für EMF im Frequenzbereich von 100 Kilohertz bis 300 Gigahertz nach § 15 EMFV

(1) Bei Überschreitung der ALS für die Exposition gegenüber EMF im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.21 hat der Arbeitgeber dafür zu sorgen, dass

1. die EGW der SAR für gesundheitliche Wirkungen bei Exposition gegenüber EMF im Frequenzbereich von 100 kHz bis 6 GHz nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.18 und der EGW der Leistungsflussdichte S für gesundheitliche Wirkungen bei Exposition gegenüber EMF im Frequenzbereich von 6 GHz bis 300 GHz nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.19 eingehalten werden und
2. nach Durchführung der festgelegten Maßnahmen entsprechend der Gefährdungsbeurteilung Gefährdungen der Beschäftigten durch direkte und indirekte Wirkungen ausgeschlossen sind und damit ein sicheres Arbeiten gewährleistet ist.

Die besonderen Festlegungen nach § 17 EMFV gelten unabhängig von § 15 Absatz 1 EMFV, siehe Abschnitt 7.2.3.

(2) Bei Arbeiten an Mobilfunkstandorten werden bei Überschreitung der ALS an Arbeitsplätzen für die Zeit der Ausführung der Arbeiten nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.21 folgende Maßnahmen durchgeführt:

1. da eine messtechnische Bestätigung der Einhaltung der EGW im Allgemeinen schwierig ist, wird in diesem Fall eine Reduzierung der einwirkenden EMF durchgeführt (Abschalten der Sendeanlage, Leistungsreduktion und gegen Wiedereinschalten bzw. Leistungserhöhung sichern),
2. bewegen sich Beschäftigte am Standort innerhalb der Sicherheitsabstände nach BNetzA-Standortbescheinigung, so wird empfohlen, vorab Kontakt zum Anlagenbetreiber bzw. Eigentümer der Liegenschaft oder des Gebäudes herzustellen, außerhalb dieser Bereiche ist nicht mit einer Überschreitung der ALS zu rechnen,
3. die Abschaltung der Sendeanlage oder Einhaltung der ALS ist sicherzustellen,

Hinweis: Dies ist z. B. mit einem für die am Standort auftretenden Frequenzen geeigneten EMF-Warngerät (siehe Abschnitt 6.8) oder Feldstärkemessgerät möglich.

4. mehrere Arbeitgeber wirken nach § 8 ArbSchG in Verbindung mit § 13 BetrSichV zusammen und
 5. Begrenzung der Aufenthaltsdauer (Sechs-Minuten-Regel) in jedem Fall, auch bei nichtvorherzusehenden Ereignissen (z. B. Unfällen), gewährleisten (weitere Informationen siehe Teil 2 Abschnitt 8 Absatz 5 Hinweis).
- (3) Bei Arbeiten an Radaranlagen gilt sinngemäß Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.1 Absatz 2.

4.2 Überschreitung der Auslöseschwelle für stationäre Kontaktströme oder induzierte Ströme durch Gliedmaßen im Frequenzbereich von 100 Kilohertz bis 110 Megahertz nach § 16 EMFV

(1) Bei Überschreitung der Auslöseschwellen für stationäre Kontaktströme I_K oder induzierte Ströme durch die Gliedmaßen I_G im Frequenzbereich von 100 kHz bis 110 MHz nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.22 hat der Arbeitgeber dafür zu sorgen, dass

1. die EGW der SAR für gesundheitliche Wirkungen bei Exposition gegenüber EMF nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.18 im Frequenzbereich mit $100 \text{ kHz} \leq f \leq 110 \text{ MHz}$ eingehalten werden und
2. nach Durchführung der festgelegten Maßnahmen entsprechend der Gefährdungsbeurteilung Gefährdungen der Beschäftigten durch direkte und indirekte Wirkungen ausgeschlossen sind und damit ein sicheres Arbeiten gewährleistet ist.

(2) Werden die in Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.22 aufgeführten ALS für hochfrequente EMF überschritten, werden möglicherweise unzulässig hohe Ströme im menschlichen Körper, besonders in den Gliedmaßen, induziert (d. h. ohne eine Berührung von leitfähigen Materialien oder HF-Elementen). In Zusammenhang mit Absatz 1 Nummer 1 verhindert die Einhaltung der in Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.18 aufgeführten EGW der SAR, dass die in den Gliedmaßen induzierten Ströme schwerwiegende Verbrennungen in tiefen Gewebeschichten hervorrufen. Im Frequenzbereich von $100 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$ sind auch direkte nichtthermische Wirkungen zu vermeiden (siehe Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.11).

(3) Der Stand der Technik in Zusammenhang mit Absatz 1 Nummer 2 sind Erdungen (siehe Abschnitt 6.4) und Potentialausgleich (siehe Abschnitt 6.5).

4.3 Überschreitung des Expositionsgrenzwertes der lokalen SAR für sensorische Wirkungen von gepulsten EMF im Frequenzbereich von 0,3 Gigahertz bis 6 Gigahertz (Mikrowellenhören) nach § 17 EMFV

(1) Bei Überschreitung des EGW der lokalen spezifischen Energieabsorption SA für sensorische Wirkungen bei Exposition gegenüber gepulsten elektromagnetischen Feldern mit $0,3 \text{ GHz} \leq f \leq 6 \text{ GHz}$ nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.20 hat der Arbeitgeber, wenn keine geeigneten alternativen Arbeitsverfahren zur Verfügung stehen, dafür zu sorgen, dass nach Durchführung der festgelegten Maßnahmen entsprechend der Gefährdungsbeurteilung

1. die Überschreitung auf kurzzeitige Einzelereignisse unter definierten Betriebsbedingungen beschränkt ist,
2. die drei EGW der SAR für gesundheitliche Wirkungen bei Exposition gegenüber EMF mit $100 \text{ kHz} \leq f \leq 6 \text{ GHz}$ nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.18 und der EGW der Leistungsdichte S für gesundheitliche Wirkungen bei Exposition gegenüber EMF mit

6 GHz $\leq f \leq$ 300 GHz nach Teil 2 Anhang 1 Tabelle A1.19 nicht überschritten werden und

3. unverzüglich weitere Maßnahmen nach § 6 Absatz 2 EMFV ergriffen werden, wenn vorübergehende Symptome nach § 6 Absatz 7 EMFV auftreten.
- (2) Im Zusammenhang mit Absatz 1 Nummer 1 werden als „kurzzeitige Einzelereignisse“ das Auftreten von sensorischen Wirkungen wie folgt verstanden:
1. „kurzzeitig“ ist die Zeitspanne von der Überschreitung des EGW für sensorische Wirkungen bis zur eigentlichen Wahrnehmung der sensorischen Wirkung durch den exponierten Beschäftigten einschließlich der Dauer der daraufhin unverzüglich durchzuführenden Sofortmaßnahmen zur Reduktion der Exposition unterhalb des EGW für sensorische Wirkungen,
 2. „Einzelereignis“ beschreibt in diesem Zusammenhang eine Überschreitung der EGW für sensorische Wirkungen (z. B. durch das Verhalten oder die Bewegung des Beschäftigten). Die Überschreitung kann eine reversible sensorische Wirkung zur Folge haben.

Weitere absehbare Überschreitungen werden durch verhaltensbezogene Maßnahmen, die z. B. im Rahmen der Unterweisung (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 7.5) den Beschäftigten vorgestellt werden, vermieden.

5 Substitutionsprüfung, Vermeidung

Die Arbeitsverfahren und Arbeitsmittel sind durch den Arbeitgeber nach § 6 Absatz 1 Satz 3 EMFV so auszuwählen und zu verwenden, dass Gefährdungen aufgrund direkter und indirekter Wirkungen von EMF vermieden oder verringert werden.

5.1 Anwendung alternativer Arbeitsverfahren

Alternative Arbeitsverfahren und Arbeitsmittel sind nach § 6 Absatz 2 Nummer 1 EMFV so auszuwählen und zu verwenden, dass Gefährdungen durch EMF vermieden oder verringert werden (Substitutionsprüfung).

5.2 Auswahl und Einsatz von EMF-Quellen und Arbeitsverfahren mit geringen EMF-Emissionen

- (1) Zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdung durch EMF sind EMF-Quellen bzw. Arbeitsverfahren anzuwenden, bei denen die EMF-Quellen nur in dem für die Anwendung notwendigen Ausmaß emittieren.
- (2) EMF-Emissionen können an der EMF-Quelle beispielsweise reduziert werden durch:
 1. technische Maßnahmen, wie z. B. Abschirmungen oder Steuerungstechnik (bspw. Sektorblanking bei Radaranwendungen) oder
 2. optimierte Anordnung der emittierenden Komponenten, z. B. HF-Zuleitungen oder HF-Erdungen.

6 Technische Maßnahmen

- (1) Technische Schutzmaßnahmen dienen der Vermeidung oder Reduzierung der Gefährdungen von Beschäftigten durch EMF. Sie sind vorrangig an der EMF-Quelle durchzuführen.
- (2) Technische Maßnahmen dürfen nicht dazu führen, dass Grenzwerte anderer Gefährdungsfaktoren (z. B. Lärm, optische Strahlung) sowie Arbeitsplatzanforderungen (z. B. Beleuchtung, Lüftung, Raumabmessungen, Bewegungsflächen sowie Fluchtwege) nicht eingehalten werden.

Hinweis: Technische Maßnahmen, die lokal (partiell) für die Einhaltung der Grenzwerte sorgen, führen ggf. in anderen Bereichen, z. B. bei Abschirmungen, Potentialausgleichen oder Erdungen, zu einer Erhöhung der auftretenden Feldstärken.

(3) Negative Wechselwirkungen mit anderen Schutzmaßnahmen sind auszuschließen.

Hinweis: Bei technischen Maßnahmen, insbesondere bei den elektronischen bzw. software-gesteuerten Einrichtungen, sind die besonderen Anforderungen an sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen nach dem Stand der Technik zu berücksichtigen (siehe Normenreihe DIN EN ISO 13849).

6.1 Abschirmung

(1) Ziel der Abschirmung ist es, Felder abzuschwächen. Zum Einsatz kommen leitende und geerdete Materialien, die es als Platten, Drahtgitter, Gewebe oder auch Folien gibt. Je nach Frequenzbereich, Art des Feldes und erforderlichem Schirmfaktor wird das am besten geeignete Material gewählt.

Hinweis: Ein möglicher Einfluss der Abschirmung auf die Betriebsparameter der EMF-Quelle ist bei bestimmten technischen Anwendungen zu beachten, z. B. offene Schwingkreise beim HF-Schweißen.

(2) Die Wirksamkeit einer installierten Abschirmung wird in regelmäßigen Abständen messtechnisch überprüft.

Hinweis: Durch Alterung (Korrosion) oder mechanische Einflüsse (als Ursache für Risse, Spalte) ist eine deutliche Beeinträchtigung der Abschirmung möglich.

6.2 Abgrenzung

(1) § 6 Absatz 3 EMFV regelt, unter welchen Bedingungen Arbeitsbereiche für die Dauer der Tätigkeit abzugrenzen sind.

(2) Abgrenzungen werden für die Dauer der Tätigkeit ausgelegt und verhindern, dass während des Betriebes Beschäftigte ohne bewusstes Überwinden von Hindernissen hineingreifen oder hineingelangen. Dabei werden ständige Abgrenzungen von vorübergehenden, wie z. B. zur Durchführung von Instandhaltungsarbeiten, unterschieden.

(3) Die Eignung der Abgrenzung ist für jeden Einsatzort gesondert zu beurteilen und regelmäßig zu überprüfen. Die Abgrenzung kann z. B. durch Lichtschranken, Verriegelungen, bauliche Maßnahmen oder temporär durch Absperrketten erfolgen.

6.3 Abschränkung, Einhausung

(1) Durch eine Abschränkung wird der Bereich einer möglichen Annäherung an die Quelle einschränkt. Im Vergleich zu einer Einhausung ist diese in vielen Fällen jedoch physisch einfacher zu überwinden.

(2) Eine Abschränkung erfolgt durch Barrieren in Form von Abzäunungen, Gittern, Geländern, Ketten, Schranken o. Ä. oder durch entsprechende Verbots-, Warn- und Zusatzzeichen (als Schilder, Aufkleber) nach Anhang 1.

(3) Eine Einhausung ist eine komplette oder teilweise Umbauung einer EMF-Quelle zur Vermeidung bzw. Verringerung möglicher und tatsächlicher Gefährdungen.

6.4 Erdung

Erdung (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.12) ist ein Potentialausgleich (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.33) eines Menschen oder Objekts mit dem elektrischen Potential des leitfähigen Erdreichs über eine elektrisch leitfähige Verbindung.

Hinweis: Die Erdung von leitfähigen Teilen trägt insbesondere zur Reduktion von elektrischen Feldern bei. Dabei ist darauf zu achten, dass sich das Feld in anderen relevanten Bereichen nicht erhöht und die Funktionsfähigkeit der Quelle weiterhin gewährleistet ist. Eine Gefährdung durch Entladungen oder Kontaktströme wird beispielsweise durch Erdungsmaßnahmen minimiert.

6.5 Potentialausgleich

Der Potentialausgleich dient der Minimierung unterschiedlicher elektrischer Potentiale und wird mittels elektrischer Verbindung zwischen leitfähigen Objekten hergestellt (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.33). Für hochfrequente EMF muss der Potentialausgleich zusätzlich niederimpedant geerdet sein (siehe Abschnitt 6.4). Eine Gefährdung durch Entladungen oder Kontaktströme wird beispielsweise dadurch minimiert.

Hinweis 1: Ein besonderes Augenmerk bei der Einbindung in den Potentialausgleich gilt beweglichen Gegenständen. Bewegliche Komponenten unterliegen einem Verschleiß, sodass es empfohlen wird, die Leitfähigkeit der Komponenten regelmäßig zu überprüfen.

Hinweis 2: Nichtleitende Materialien (z. B. Glas, die meisten Kunststoffe) weisen antistatische Eigenschaften auf und sind für die Einbindung in einen Potentialausgleich ungeeignet.

6.6 Vorrichtung zur automatischen Abschaltung

(1) Durch eine Vorrichtung zur automatischen Abschaltung oder zumindest Drosselung der Leistung der EMF-Quelle wird die Exposition bei Betreten oder Hineinlangen in einen überwachten Bereich hoher Exposition beschränkt. Diese Vorrichtungen können mit Einhausungen oder Abschrankungen kombiniert sein.

(2) In Vorrichtungen zur automatischen Abschaltung oder Drosselung sind geeignete Sensoren zu verwenden (z. B. Detektion der Entfernung, Öffnung einer Abschrankung, Lichtschranken). Die Schnelligkeit der automatischen Abschaltung wird berücksichtigt. Die Anforderungen an das Auslösen der automatischen Abschaltung oder Drosselung ergeben sich aus der Gefährdungsbeurteilung.

Hinweis: Weitere Informationen sind den allgemeinen Anforderungen für Schutzeinrichtungen zu entnehmen. Ein redundantes System erhöht die Sicherheit und ist zweckmäßig.

(3) Vorrichtungen zur automatischen Abschaltung:

1. müssen zwangsweise wirken,
2. müssen stabil gebaut sein,
3. dürfen keine zusätzlichen Gefahren verursachen und
4. dürfen nicht auf einfache Weise umgangen oder unwirksam gemacht werden können.

(4) Die Wirksamkeit der Vorrichtung zur automatischen Abschaltung ist regelmäßig zu überprüfen. Dabei sind die Ausfallwahrscheinlichkeit (Performancelevel) und der Verschleiß zu berücksichtigen.

(5) Ist beim Betrieb von Anlagen die Einhaltung von EGW bzw. ALS bei thermischen Wirkungen von bestimmten technischen Funktionen der Anlage abhängig, müssen diese so beschaffen sein, dass bei Ausfall dieser Funktionen die Abstrahlung von EMF automatisch unterbrochen oder geeignet reduziert wird (z. B. Rotation einer Antenne oder Beamforming bei Radaranlagen).

6.7 Verriegelungseinrichtung

Bei einer solchen Vorrichtung handelt sich um eine Einrichtung (mechanisch, elektrisch oder sonstiger Art), die den Zweck hat, die Gefährdungen von Beschäftigten durch EMF unter festgelegten Bedingungen (z. B. physischer Zugriff) zu vermeiden bzw. zu verringern (z. B. wenn eine Einhausung nicht geschlossen ist). Für weitere Informationen siehe DIN EN ISO 12100:2011 sowie DIN EN ISO 14119:2014.

6.8 Warngerät

(1) Personengetragene Warngeräte warnen den Träger durch ein Alarmsignal bei Erreichen einer bestimmten Exposition. Das Gerät wird so am Körper oder in Bewegungsrichtung vor dem Körper getragen, dass mögliche kritische Expositionen zuerst erfasst werden können.

(2) Folgende Anforderungen sind an Warngeräte zu stellen:

1. Warngeräte müssen für die jeweilige Expositionssituation geeignet sein, z. B. müssen alle expositionsrelevanten EMF (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.13 Absatz 5) bewertet werden.
2. Die korrekte Funktion des Warngerätes muss durch den Arbeitgeber vor dessen Einsatz sichergestellt sein.
3. Es werden nur Warngeräte mit gültiger Kalibrierung verwendet.
4. Die Bezugsgrößen der Alarmschwellen sind die ALS nach Anhängen 2 und 3 EMFV. Das Warngerät muss bei Bewertung der Alarmschwellen seine spezifische Messunsicherheit berücksichtigen.

Hinweis: Zur Berücksichtigung verschiedener Expositionssituationen im Rahmen der individuellen Ausübung der Tätigkeit können vorsorglich niedrigere Alarmschwellen als die ALS nach Anhängen 2 und 3 EMFV gewählt werden.

7 Organisatorische Maßnahmen

(1) Um Gefährdungen der Beschäftigten durch Expositionen gegenüber EMF auszuschließen oder so weit wie möglich zu verringern, sind nach Substitutionsprüfung und technischen Maßnahmen erforderlichenfalls organisatorische Schutzmaßnahmen zu treffen.

(2) Zusätzlich gehören zu den in den folgenden Unterabschnitten beschriebenen organisatorischen Maßnahmen z. B.:

1. Beachtung von (ggf. zeitabhängigen) Sicherheitsabständen nach Herstellerangaben,
2. die Aufenthaltsdauer im Bereich des EMF begrenzen, Minimierung der Expositionszeit durch Optimierung der Arbeitsabläufe (Stichwort: Sechs-Minuten-Regel),
3. Einschleiben von „Abkühlphasen“, Wechsel von Tätigkeitsanteilen zwischen höher- und niedriger exponierten Bereichen und
4. Warnsignale.

7.1 Abstandsvergrößerung

Die EMF-Exposition nimmt mit zunehmendem Abstand von der EMF-Quelle ab. Die Abstandsvergrößerung ist somit eine einfache und wirkungsvolle, wenn auch ggf. platzeinnehmende, Schutzmaßnahme.

Hinweis: Je nach EMF-Quelle nimmt die Feldgröße pro Entfernungseinheit r mit bis zu $1/r^3$ ab. Ist die Abnahme der Feldgröße nicht bekannt, wird die Abnahme der Feldgröße mit $1/r$ angenommen.

7.2 Kennzeichnung

(1) § 6 Absatz 3 EMFV regelt, unter welchen Bedingungen Arbeitsbereiche zu kennzeichnen sind oder unter welchen Bedingungen bestimmte Kennzeichnungen nicht erforderlich sind, wie beispielsweise in zugangsbeschränkten oder öffentlich zugänglichen Arbeitsbereichen.

(2) Die Kennzeichnung muss nach ASR A1.3 deutlich erkennbar und dauerhaft sein:

1. Deutlich erkennbar bedeutet, dass die Kennzeichnung von den entsprechenden Verkehrs- und Arbeitswegen sowie allen anderen Zugangsmöglichkeiten wahrnehmbar ist.
2. Dauerhaft erkennbar bedeutet, dass die Kennzeichnung über die Dauer der möglichen Exposition nicht einfach zu entfernen ist oder durch Umgebungseinflüsse unkenntlich wird.

(3) Die Kennzeichnung erfolgt beispielsweise durch Verbots-, Warn-, Gebots- und Zusatzzeichen nach Anhang 1 oder Warnleuchten. Weitere Informationen und Konkretisierungen zur Ausführung der Kennzeichnung enthält ASR A1.3.

7.3 Zugangsregelung

(1) Nach § 6 Absatz 3 EMFV ist der Zugang zu einem Arbeitsbereich für die Dauer der Tätigkeit gegebenenfalls einzuschränken, wenn die ALS überschritten werden oder Gefährdungen für besonders schutzbedürftige Beschäftigte bestehen.

(2) Zugangsregelungen werden z. B. durch technische Schutzmaßnahmen realisiert. Ist dies nicht möglich, so sind durch organisatorische Schutzmaßnahmen (z. B. Zugangsverbote) entsprechende Zugangsregelungen sicherzustellen.

7.4 Betriebsanweisung

(1) Nach § 12 BetrSichV sind Betriebsanweisungen arbeitsplatz- und tätigkeitsbezogene verbindliche schriftliche Anordnungen und Verhaltensregeln. Sie weisen auf Gefahren hin, zeigen Schutzmaßnahmen auf und regeln deren Anwendung.

Hinweis: Für eine Musterbetriebsanweisung siehe Anhang 2.

(2) Die Betriebsanweisung ist in einer für die Beschäftigten verständlichen Form und Sprache abzufassen und an geeigneter Stelle in der Arbeitsstätte – möglichst in Arbeitsplatznähe – zugänglich zu machen.

(3) Bei jeder maßgeblichen Veränderung der Arbeitsbedingungen (siehe Teil 1 Abschnitt 8) muss die Betriebsanweisung aktualisiert werden.

7.5 Unterweisung

§ 19 EMFV regelt, wann und mit welchen Inhalten die Beschäftigten unterwiesen werden müssen.

Hinweis: Für weiterführende Informationen siehe Teil 1 Abschnitt 7.

8 Persönliche Maßnahmen

Wenn durch technische und organisatorische Schutzmaßnahmen Gefährdungen der Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten nicht ausgeschlossen werden können, sind geeignete persönliche Maßnahmen durch die Beschäftigten anzuwenden. Hierzu zählen z. B. persönliche Schutzausrüstung und Verhaltensmaßnahmen.

8.1 Persönliche Schutzausrüstung (PSA)

PSA ist geeignet, wenn bei ihrer Benutzung keine unzulässige Exposition auftritt. Sie muss der Verordnung (EU) 2016/425 und dem PSA-DG entsprechen.

Hinweis: Zur Zeit der Drucklegung und Veröffentlichung dieser TREMF war am Markt keine PSA zum Schutz vor Gefährdungen durch EMF verfügbar.

8.2 Verhaltensmaßnahmen

(1) In Verbindung mit § 17 EMFV werden Beschäftigte unterwiesen, durch verhaltensbezogene Maßnahmen ggf. auftretende kurzzeitige Einzelereignisse zu vermeiden (siehe Abschnitt 4.3).

(2) EMF können in metallischen Schmuck oder Körperschmuck bzw. Tätowierungen mit metallischen Farbpigmenten einkoppeln oder durch diese verdichtet werden, wodurch z. B. gesundheitsschädliche Wärmewirkungen hervorgerufen werden können.

(3) Verhaltensmaßnahmen können beinhalten:

1. Ablegen von metallischem Schmuck oder Körperschmuck,
2. Kühlen von Tätowierungen und Permanentmakeup mit metallischen Farbpigmenten und
3. Begrenzung der Aufenthaltsdauer zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdung durch lokale Wärmewirkungen.

(4) Beschäftigte werden über die Durchführung möglicher Verhaltensmaßnahmen im Rahmen der Unterweisung unterrichtet.

9 Betriebszustände

Für jede EMF-Quelle gibt es unterschiedliche Betriebszustände (vgl. Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.5). Hierzu zählen Normalbetrieb, Einrichtungsvorgänge und Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten. Jeder dieser Zustände bzw. jede dieser Arbeitssituationen zeichnet sich möglicherweise durch unterschiedliche Expositionen aus. Folglich werden diese beim Festlegen der Schutzmaßnahmen berücksichtigt.

9.1 Inbetriebnahme

Bei jeder Inbetriebnahme von mobilen EMF-Quellen (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.11) und bei der Erstinbetriebnahme von ortsfesten Anlagen (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.11 Absatz 2) ist zu überprüfen, ob die für die Anwendung erforderlichen Schutzmaßnahmen getroffen wurden und funktionstüchtig sowie wirksam sind. Es sind die Vorgaben des Herstellers (z. B. Betriebsanleitung) und des Arbeitgebers (Unterweisung und ggf. Betriebsanleitung) zu beachten.

9.2 Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten

- (1) Regelmäßige Instandhaltung von EMF-Quellen, Arbeitsplätzen und Anlagen verringert die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Exposition der Beschäftigten durch EMF unerwartet und möglicherweise unbemerkt erhöht. Deshalb sind die EMF-Quellen, Arbeitsplätze und Anlagen regelmäßig zu prüfen und erforderlichenfalls instand zu halten bzw. zu reparieren. Dabei sind u. a. die Empfehlungen der Hersteller zu Instandhaltungs- und Reparaturintervallen zu berücksichtigen.
- (2) Werden Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten von EMF-Quellen während des laufenden Betriebs durchgeführt, so sind die daraus resultierenden Gefährdungen gesondert zu beurteilen.

10 Gestaltung und Einrichtung von Arbeitsplätzen

- (1) Arbeitsplätze sind so zu gestalten und einzurichten, dass die Gefährdung von Beschäftigten durch EMF entsprechend dem Stand der Technik vermieden oder verringert wird und somit ein sicheres Arbeiten gewährleistet ist.
- (2) Maßnahmen nach dem Stand der Technik umfassen z. B.:
 1. bei zeitveränderlichen Magnetfeldern mit $100 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$: aufgrund der mit zunehmender räumlicher Entfernung von der EMF-Quelle rasch abnehmenden Exposition ist eine Abstandsmaximierung zur EMF-Quelle anzustreben, ggf. in Verbindung mit anderen Maßnahmen (siehe Abschnitte 5 bis 8),
 2. bei EMF mit $100 \text{ kHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$: Abstandsmaximierung unter Berücksichtigung von Bereichen mit höherer Exposition aufgrund fokussierter EMF, Vorsehen von Potentialausgleichen bzw. Erdungen von Gegenständen und Beschäftigten und
 3. bei Exposition gegenüber einer Mischung der in den Nummern 1 und 2 beschriebenen EMF: gleichzeitige Berücksichtigung der Gestaltungs- und Einrichtungsanforderungen.

11 Maßnahmen gegen indirekte Wirkungen

Bei der Festlegung der Maßnahmen nach § 3 Absatz 7 EMFV hat der Arbeitgeber die Erfordernisse von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 4.4) entsprechend dem Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen und ggf. individuelle Schutzmaßnahmen vorzusehen (siehe Teil 1 Abschnitt 6.9).

11.1 Maßnahmen gegen Auslösen elektrischer Zündvorrichtungen

- (1) Elektrische Zündvorrichtungen unterliegen vorrangig dem Anwendungsbereich des SprengG, der GefStoffV und der BetrSichV. Unter bestimmten Umständen lösen ausreichend starke hochfrequente EMF solche Zündvorrichtungen aus.
- (2) Technische und organisatorische Maßnahmen umfassen vorrangig die Vermeidung oder Reduktion der Exposition gegenüber hochfrequenten EMF im direkten Umfeld der Zündvorrichtungen, siehe z. B. SprengTR 310.

Hinweis: Für weitere Informationen zu adäquaten Maßnahmen siehe CLC/TR 50426.

11.2 Maßnahmen gegen Brände oder Explosionen

- (1) Brände oder Explosionen werden möglicherweise verursacht, wenn hochfrequente EMF von Sendeanlagen (z. B. Mobil- oder Rundfunksender):
 1. bei sehr hohen Feldstärken und (im ungünstigsten Fall) optimaler Einkopplung dünne Drähte zum Glühen bringen,

2. im Zwischenabstand (Unterbrechungen) von leitfähigen Elementen Funkenbildung verursachen oder
3. bei sehr hohen Frequenzen bestimmte Werkstoffe infolge von Energieabsorption sehr stark erhitzen und dadurch eine explosionsfähige Atmosphäre gezündet wird.

(2) Technische Maßnahmen gegen Brände oder Explosionen umfassen einerseits Erdung (siehe Abschnitt 6.4) oder Potentialausgleich (siehe Abschnitt 6.5) aller leitfähigen Elemente und Materialien. Durch eine ausreichend geringe Sendeleistung der EMF-Quelle bzw. einen entsprechend großen Abstand zum explosionsgefährdeten Bereich ist eine Sicherstellung des Explosionsschutzes möglich. Wenn die durch das Empfangsgebilde aus dem Hochfrequenzfeld entnommene Wirkleistung einen Wert von $P_{zul} = 2 \text{ W}$ (gemittelt über die Zündinduktionszeit von $20 \mu\text{s}$) nicht überschreitet, ist nach TRGS 723 sichergestellt, dass auch besonders explosionsempfindliche Gase (Explosionsgruppe IIC) nicht entzündet werden.

Hinweis: Aus dieser Vorgabe wird bei bekannter Sendeleistung der Mindestabstand zwischen EMF-Quelle und explosionsgefährdetem Bereich ermittelt. Für weitere Informationen siehe z. B. DIN VDE 0848-5 bzw. CLC/TR 50427.

(3) In explosionsgefährdeten Bereichen sind die Vorgaben der GefStoffV einzuhalten, wie beispielsweise das Erstellen einer Gefährdungsbeurteilung, z. B. nach TRGS 721 in Verbindung mit § 6 Absatz 9 GefStoffV. Die gemäß Gefährdungsbeurteilung erforderlichen Sicherheitsabstände von EMF-Quellen zu explosionsgefährdeten Bereichen sind einzuhalten, um einen unzulässigen Energieeintrag zu vermeiden.

11.3 Maßnahmen gegen Kontaktströme

(1) Um die für Kontaktströme verantwortlichen Potentialdifferenzen zu verhindern, ist ein geerdeter Potentialausgleich, der alle elektrisch leitfähigen Gegenstände einschließt, erforderlich.

Hinweis 1: Der durch Kontaktströme (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 5.6) hervorgerufene physiologische Effekt hängt von der Größe der Kontaktfläche sowie von der Entladungsenergie (siehe Teil „Allgemeines“ Abschnitt 5.5) bzw. der Amplitude und Frequenz des Kontaktstroms ab. Der Potentialausgleich (siehe Abschnitt 6.5) erfolgt niederohmig, damit der hochohmige Stromfluss über den Körper gesichert verhindert wird.

Hinweis 2: Sind die Erdung (siehe Abschnitt 6.4) bzw. der Potentialausgleich möglicherweise atmosphärischen Blitzableitströmen oder Blitzteilströmen ausgesetzt, müssen die Anforderungen der Leiter, Erder und Verbindungsteile den Anforderungen einer Blitzschutzanlage entsprechen (siehe z. B. DIN VDE 0855-300 oder DIN VDE 0800-2).

11.4 Maßnahmen gegen Beeinflussung von Arbeitsmitteln durch EMF

(1) Der Arbeitgeber darf nach § 5 Absatz 1 BetrSichV nur solche Arbeitsmittel zur Verfügung stellen und verwenden lassen, die unter Berücksichtigung der vorgesehenen Einsatzbedingungen bei der Verwendung sicher sind.

(2) Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist abzuklären, ob und ggf. welche Auswirkungen der EMF auf die zu verwendenden Arbeitsmittel zu erwarten sind.

12 Literaturhinweise

12.1 Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln

Europäisches Regelwerk

Verordnung (EU) 2016/425 Verordnung (EU) 2016/425 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2016 über persönliche Schutzausrüstungen und zur Aufhebung der Richtlinie 89/686/EWG des Rates

Nationales Regelwerk

ArbSchG Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG)

JArbSchG Gesetz zum Schutze der arbeitenden Jugend (Jugendarbeitsschutzgesetz – JArbSchG)

PSA-DG Gesetz zur Durchführung der Verordnung (EU) 2016/425 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2016 über persönliche Schutzausrüstungen (PSA) und zur Aufhebung der Richtlinie 89/686/EWG des Rates (PSA-Durchführungsgesetz – PSA-DG)

SprengG Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz – SprengG)

ArbStättV Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV)

BetrSichV Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV)

TRGS 721 Technische Regeln für Gefahrstoffe – „Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Beurteilung der Explosionsgefährdung“

TRGS 723 Technische Regeln für Gefahrstoffe – „Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Gemische“

EMFV Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder (Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – EMFV)

GefStoffV Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV)

SprengTR 310 Technische Regel zum Sprengstoffrecht – „Sprengarbeiten“

ASR A1.3 Technische Regeln für Arbeitsstätten „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung“

TREM HF MR Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – Magnetresonanzverfahren

TREM NF Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – Statische und zeitveränderliche elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich bis 10 MHz

12.2 Normen

CLC/TR 50426:2005-03	Leitfaden zur Verhinderung des unbeabsichtigten Auslösens einer Zündeinrichtung mit Brückendraht durch hochfrequente Strahlung
CLC/TR 50427:2006-04	Leitfaden zur Verhinderung der unbeabsichtigten Zündung explosionsfähiger Atmosphären durch hochfrequente Strahlung
DIN EN ISO 7010:2019-07	Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen – Registrierte Sicherheitszeichen
DIN EN ISO 12100:2011-03	Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung
DIN EN ISO 14119:2014-03	Sicherheit von Maschinen – Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen – Leitsätze für Gestaltung und Auswahl
DIN VDE 0800-2:2011-06	Informationstechnik – Teil 2: Potentialausgleich und Erdung (Zusatzfestlegungen)
DIN VDE 0848-5:2001-01	Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern – Teil 5: Explosionsschutz
DIN VDE 0855-300:2008-08	Funksende-/empfangssysteme für Senderausgangsleistungen bis 1 kW – Teil 300: Sicherheitsanforderungen

Anhang 1: Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung

Die Kennzeichnung erfolgt gemäß Arbeitsstättenregel „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung“ (ASR A1.3). Die hier aufgeführte Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung ist nicht abschließend. Für weitere Vorlagen für geeignete Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung siehe z. B. DIN EN ISO 7010.

A1.1 Verbotsschilder

Ein Verbotsschilder ist nach ASR A1.3 ein Sicherheitszeichen, das ein Verhalten, durch das eine Gefahr entstehen kann, untersagt.



	<p>P001 Allgemeines Verbotsschilder, darf nur in Verbindung mit einem Zusatzzeichen angewendet werden, dass das Verbot konkretisiert (siehe A1.3 Zusatzzeichen). Quelle: ASR A1.3</p>
	<p>P007 Kein Zutritt für Personen mit Herzschrittmachern oder implantierten Defibrillatoren sowie sonstigen aktiven Implantaten. Quelle: ASR A1.3</p>
	<p>P008 Aufgrund starker magnetischer Felder ist das Mitführen von Metallteilen und Uhren verboten. Quelle: DIN EN ISO 7010:2012-10</p>
	<p>P010 Berühren verboten. Quelle: ASR A1.3</p>
	<p>P013 Eingeschaltete Mobiltelefone verboten. Quelle: ASR A1.3</p>

	<p>P014 Kein Zutritt für Personen mit Implantaten aus Metall. Quelle: ASR A1.3</p>
	<p>P015 Hineinfassen verboten. Quelle: ASR A1.3</p>
	<p>D-P006 Zutritt für Unbefugte verboten. Quelle: ASR A1.3</p>

A1.2 Warnzeichen


Ein Warnzeichen ist nach ASR A1.3 ein Sicherheitszeichen, das vor einem Risiko oder einer Gefahr warnt.

	<p>W001 Allgemeines Warnzeichen, darf nur in Verbindung mit einem Zusatzzeichen angewendet werden, dass die Gefahr konkretisiert (siehe A1.3 Zusatzzeichen). Quelle: ASR A1.3</p>
	<p>W005 Warnung vor nicht ionisierender Strahlung, hier EMF. Quelle: ASR A1.3</p>
	<p>W006 Warnung vor magnetischem Feld. Quelle: ASR A1.3</p>

	<p>W012 Warnung vor elektrischer Spannung. Quelle: ASR A1.3</p>
	<p>W017 Warnung vor heißer Oberfläche Quelle: ASR A1.3</p>

A1.3 Zusatzzeichen

Ein Zusatzzeichen ist nach ASR A1.3 ein Zeichen, das zusammen mit einem der unter A1.1 und A1.2 beschriebenen Sicherheitszeichen verwendet wird und zusätzliche Hinweise liefert. Zusatzzeichen werden synonym auch als Hinweiszeichen benannt.

<div style="border: 2px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> mögl. Gefährdung Zielgruppe Sicherheitsabstand </div>	<p>Vorlage für generisches Zusatzzeichen: 1. Zeile: Konkretisierung der möglichen Gefährdung: z. B. elektromagnetisches Feld 2. Zeile: Zielgruppe: z. B. Implantatträger 3. Zeile: einzuhaltender Sicherheitsabstand</p>
<div style="border: 2px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Elektrisches Feld </div>	<p>Elektrisches Feld</p>
<div style="border: 2px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Projektilwirkung oder  </div>	<p>Projektilwirkung</p>
<div style="border: 2px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Expositionsdauer < 6 Minuten </div>	<p>Expositionsdauer muss weniger als 6 Minuten betragen</p>
<div style="border: 2px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Sicherheitsabstand ... cm </div>	<p>Angabe des erforderlichen Sicherheitsabstandes in der entsprechenden Einheit, hier „cm“</p>

<div data-bbox="274 206 635 324" style="border: 2px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Expositionszone ...</div>	Angabe der Expositionszone
<div data-bbox="274 362 635 470" style="border: 2px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Gefahrenzone</div>	Gefahrenzone

Anhang 2: Betriebsanweisung

Die hier aufgeführte Empfehlung zum Inhalt einer Betriebsanweisung entfaltet keine Vermutungswirkung im Sinne von § 21 Absatz 6 Nummer 1 BetrSichV.

Eine Betriebsanweisung enthält folgende Angaben:

1. Anwendungsbereich, z. B. mit Angaben über
 - a) den Betrieb der Anlage,
 - b) die Arbeits- und Aufenthaltsbereiche,
2. die Expositionssituation (z. B. auch mit Skizze),
3. die relevanten Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen sowie ihre Bedeutung,
4. die Ergebnisse der Expositionsermittlung und -bewertung in Verbindung mit Erläuterungen,
5. die mit der Tätigkeit verbundenen Gefährdungen für die Beschäftigten, z. B. mit Angaben zum Auftreten von
 - a) direkten Wirkungen (Reiz- und Wärmewirkung),
 - b) indirekten Wirkungen,
 - c) möglicherweise auftretenden vorübergehenden Symptomen nach § 6 Absatz 7 EMFV und wie diese vermieden werden können,
6. spezifische Informationen für besonders schutzbedürftige Beschäftigte,
7. die Beschreibung sicherer Arbeitsverfahren zur Minimierung der Gefährdung aufgrund der Exposition durch EMF,
8. die durchgeführten Maßnahmen und Verhaltensregeln zur Vermeidung oder zur Minimierung der Gefährdung unter Berücksichtigung der Arbeitsplatzbedingungen (z. B. zu Zugangsregelungen),
9. sachgerechte Verwendung von Schutz- und Hilfsmitteln (z. B. persönliche Schutzausrüstung),
10. Hinweise zur Erkennung und Meldung von möglichen gesundheitsschädlichen Wirkungen einer Exposition gegenüber EMF,
11. Verhalten bei
 - a) unterschiedlichen Betriebszuständen,
 - b) Störungen,
 - c) Unfällen,
12. Weitergabe von Informationen beim Zusammenwirken mehrerer Arbeitgeber (z. B. zwischen dem Eigentümer einer Liegenschaft, dem Betreiber des dort befindlichen Standortes/Dienstes und des Handwerkers) nach § 8 ArbSchG,
13. Abschluss der Arbeiten, d. h., wann mit einer Gefahr nicht mehr zu rechnen ist.