



Europäische
Kommission

Nicht verbindlicher Leitfaden
mit bewährten Verfahren im
Hinblick auf die Durchführung
der Richtlinie 2013/35/EU

Elektromagnetische Felder

Band 1: Praktischer Leitfaden

Diese Veröffentlichung wurde mit Finanzmitteln des EU-Programms für Beschäftigung und soziale Innovation (EaSI, 2014-2020) unterstützt.

Weitere Informationen finden Sie unter: <http://ec.europa.eu/social/easi>

Nicht verbindlicher Leitfaden
mit bewährten Verfahren im
Hinblick auf die Durchführung
der Richtlinie 2013/35/EU

Elektromagnetische Felder

Band 1: Praktischer Leitfaden

Europäische Kommission
Generaldirektion Beschäftigung,
Soziales und Integration
Referat B3

Manuskript abgeschlossen im November 2014

Die Europäische Kommission und die in ihrem Namen handelnden Personen übernehmen keine Haftung für die Verwendung der in dieser Veröffentlichung enthaltenen Informationen.

Die Links in dieser Veröffentlichung waren bei Abschluss des Manuskripts zutreffend.

© Titelfoto: Corbis

Für die Benutzung oder den Nachdruck von Fotos, die nicht dem Copyright der Europäischen Union unterstellt sind, muss eine Genehmigung direkt bei dem/den Inhaber(n) des Copyrights eingeholt werden.

Europe Direct soll Ihnen helfen, Antworten auf
Ihre Fragen zur Europäischen Union zu finden.

Gebührenfreie Telefonnummer*:

00 800 6 7 8 9 10 11

(* Sie erhalten die bereitgestellten Informationen kostenlos, und in den meisten Fällen entstehen auch keine Gesprächsgebühren (außer bei bestimmten Telefonanbietern sowie für Gespräche aus Telefonzellen oder Hotels).

Weitere Informationen über die Europäische Union sind im Internet unter <http://europa.eu> verfügbar.

Luxemburg: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, 2015

ISBN 978-92-79-45885-9 (PDF)

doi:10.2767/209771 (PDF)

© Europäische Union, 2015

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet.

ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende praktische Leitfaden soll Arbeitgebern, insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen, als Hilfestellung bei der Erfüllung ihrer Pflichten aus der Richtlinie 2013/35/EU über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) (EMF-Richtlinie) dienen. In der Europäischen Union sind die allgemeinen Maßnahmen, die ergriffen werden müssen, um die Sicherheit und den Gesundheitsschutz von Arbeitnehmern zu gewährleisten, in der Rahmenrichtlinie 89/391/EWG festgelegt. Die EMF-Richtlinie liefert im Wesentlichen zusätzliche Informationen dahin gehend, wie die Zielsetzungen der Rahmenrichtlinie für die spezifische Situation der Arbeit mit elektromagnetischen Feldern zu erfüllen sind.

Bei vielen der in einem modernen Arbeitsumfeld ausgeführten Tätigkeiten sind die Arbeitnehmer elektromagnetischen Feldern ausgesetzt, die u. a. durch die Verwendung von elektrischen Arbeitsmitteln und vielen gängigen Kommunikationsgeräten entstehen. In der Mehrzahl der Arbeitsplätze ist die Exposition jedoch sehr niedrig und stellt keine Gefahr für die Arbeitnehmer dar. Selbst wenn Geräte starke elektromagnetische Felder erzeugen, werden diese Felder mit zunehmendem Abstand zur Quelle schnell schwächer, sodass für Arbeitnehmer keine Gefährdung besteht, wenn sie sich nicht in unmittelbarer Nähe der betreffenden Geräte aufhalten müssen. Da die meisten Felder elektrisch erzeugt werden, sind sie nach Abschalten des Stroms nicht mehr vorhanden.

Risiken für die Arbeitnehmer können sowohl durch direkte Wirkungen des Feldes auf den Körper als auch durch indirekte Auswirkungen entstehen, die durch das Vorhandensein eines Gegenstands im Feld ausgelöst werden. Die direkten Wirkungen können ihrer Art nach thermisch oder nichtthermisch sein. Manche Arbeitnehmer können durch elektromagnetische Felder besonders gefährdet sein. Zu diesen zählen Arbeitnehmer, die aktive oder passive implantierte medizinische Geräte tragen, Arbeitnehmer, die medizinische Geräte am Körper tragen, sowie schwangere Arbeitnehmerinnen.

Um die Arbeitgeber bei einer ersten Bewertung ihrer Arbeitsstätte zu unterstützen, enthält der Leitfaden eine Tabelle mit allgemeinen Arbeitssituationen. In drei Spalten dieser Tabelle wird für die aufgeführten Arbeitssituationen jeweils angegeben, ob spezielle Bewertungen für Arbeitnehmer, die aktive Implantate tragen, für andere besonders gefährdete Arbeitnehmer sowie für alle Arbeitnehmer erforderlich sind. Anhand dieser Tabelle sollte die Mehrzahl der Arbeitgeber feststellen können, ob die Arbeitsplätze in ihrem Unternehmen Risiken durch elektromagnetische Felder beinhalten.

Auch bei Arbeitnehmern, die aktive implantierte medizinische Geräte tragen, genügt es normalerweise, sicherzustellen, dass diese die entsprechenden Anweisungen ihrer behandelnden Ärzte befolgen. Der vorliegende Leitfaden enthält einen Anhang, der für Arbeitgeber hilfreich ist, die das Risiko für besonders gefährdete Arbeitnehmer einschätzen müssen.

Die weitere Spalte in der Tabelle bezieht sich auf Arbeitssituationen, bei denen davon auszugehen ist, dass sie starke Felder verursachen. In Bezug auf diese Situationen müssen Arbeitgeber in der Regel eine detaillierte Bewertung durchführen. Häufig stellen die Felder nur ein Risiko für besonders gefährdete Arbeitnehmer dar. In einigen wenigen Fällen jedoch können Risiken durch direkte Wirkungen oder indirekte Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern für alle Arbeitnehmer bestehen. In diesen Fällen muss der Arbeitgeber zusätzliche Schutz- oder Präventionsmaßnahmen erwägen.

Dieser praktische Leitfaden enthält Hinweise zur Durchführung von Risikobewertungen im Einklang mit einer Reihe weitverbreiteter Verfahren zur Risikobewertung, wozu auch die Plattform für die interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung (OiRA) der Europäischen Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz (OSHA) zählt.

Im Rahmen der Risikobewertung müssen die Arbeitgeber bisweilen auch die Daten der am Arbeitsplatz vorhandenen elektromagnetischen Felder mit den in der EMF-Richtlinie angegebenen Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerten vergleichen. Liegen nur schwache Felder am Arbeitsplatz vor, sind solche Vergleiche normalerweise nicht notwendig, und den Arbeitgebern wird empfohlen, in diesem Fall allgemeine Informationen wie die oben erwähnte Tabelle heranzuziehen.

Sind Vergleiche mit Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerten notwendig, wird den Arbeitgebern geraten, möglichst verfügbare Informationen von Herstellern oder aus Datenbanken zu nutzen, statt eigene Risikobewertungen durchzuführen. Für diejenigen Arbeitgeber, die eigene Risikobewertungen durchführen müssen, enthält der Leitfaden Hinweise zu bestimmten Methoden und Themen wie dem Umgang mit ungleichmäßigen Feldern, der Summation von multifrequenten Feldern und der Methode gewichteter Spitzenwerte.

Wenn Arbeitgeber zusätzliche Schutz- oder Präventionsmaßnahmen treffen müssen, finden sie in diesem Leitfaden Informationen zu den verfügbaren Möglichkeiten. In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass es keine allgemeingültige Lösung für alle EMF-Risiken gibt. Die Arbeitgeber müssen vielmehr alle verfügbaren Möglichkeiten erwägen und sich dann für diejenigen entscheiden, die für ihre Situation am besten geeignet sind.

Schon seit einiger Zeit ist anerkannt, dass die Anwendung der Magnetresonanztomografie (MRT) im Gesundheitswesen zu Expositionen der Arbeitnehmer führen kann, die die in der EMF-Richtlinie festgesetzten Expositionsgrenzwerte überschreiten. Bei der Magnetresonanztomografie handelt es sich um eine wichtige medizinische Diagnostik- und Behandlungstechnik. Demnach werden in der EMF-Richtlinie bedingte Ausnahmen von der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte gewährt. Der Leitfaden umfasst einen in Zusammenarbeit mit den einschlägigen Kreisen erarbeiteten Anhang, der den Arbeitgebern praktische Leitlinien zur Erfüllung der Voraussetzungen für etwaige Ausnahmen an die Hand gibt.

In Band 2 werden zwölf Fallstudien beschrieben, die Arbeitgebern beispielhaft zeigen, wie eine Risikobewertung anzugehen ist, und die einige der Präventions- und Schutzmaßnahmen veranschaulichen, die ergriffen werden können. Die Fallstudien beziehen sich auf allgemeine Arbeitsplätze, wurden jedoch anhand realer Arbeitssituationen zusammengestellt. Viele der in den Fallstudien beurteilten Situationen beinhalten die Erzeugung starker elektromagnetischer Felder. In einigen Fällen bezieht sich das Risiko nur auf besonders gefährdete Arbeitnehmer. Hier kann das Risiko ausgeschlossen werden, indem diese Arbeitnehmer nicht in dem Bereich mit den starken Feldern eingesetzt werden. In anderen Fällen besteht ein potenzielles Risiko für alle Arbeitnehmer. Jedoch müssen die Arbeitnehmer während der Erzeugung des starken Feldes in dem betreffenden Bereich nicht zwingend anwesend sein.

Neben der bereits oben erwähnten Magnetresonanztomografie wurden zwei weitere Situationen ermittelt, in denen Arbeitnehmer regelmäßig elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sein können, die die Expositionsgrenzwerte überschreiten.

Dies ist am häufigsten beim Widerstandsschweißen der Fall. Bei diesem Verfahren werden sehr hohe Ströme verwendet, und die magnetische Flussdichte nimmt häufig Werte an, die im Bereich der in der EMF-Richtlinie angegebenen Auslöseschwellen liegen oder diese überschreiten. Bei manuellen Schweißverfahren befindet sich der Schweißer zwangsweise in unmittelbarer Nähe der Feldquelle. In einigen der in den Fallstudien und in anderen Zusammenhängen untersuchten Situationen werden die niedrigen Auslöseschwellen bisweilen vorübergehend überschritten. Dagegen wird in allen Fällen entweder die hohe Auslöseschwelle nicht überschritten oder aus der Simulation geht hervor, dass die Expositionsgrenzwerte eingehalten werden. Demnach können die Risiken in den meisten Fällen durch einfache Maßnahmen beherrscht werden, beispielsweise indem die Arbeitnehmer entsprechend unterrichtet und unterwiesen werden, damit sie verstehen, welche Risiken bestehen und wie sie die Exposition beim

bestimmungsgemäßen Gebrauch des Geräts minimieren können. Dennoch können bei einer Minderheit manueller Widerstandsschweißverfahren Expositionen entstehen, die die in der EMF-Richtlinie angegebenen Expositionsgrenzwerte überschreiten. Vertreter von Wirtschaftszweigen, die derartige Technologien einsetzen, müssen sich aller Wahrscheinlichkeit nach an die Regierung des jeweiligen Mitgliedstaats wenden, um eine vorübergehende Ausnahme für den kontinuierlichen Einsatz des betreffenden Geräts zu beantragen, damit sie Zeit für eine Umrüstung erhalten.

Die zweite Situation, in der eine hohe Exposition auftreten kann, ist die transkranielle Magnetstimulation in der Medizin. Dieses Verfahren wird weniger häufig eingesetzt als die Magnetresonanztomografie, ist aber dennoch eine wichtige und weitverbreitete Technik für Therapie- und Diagnosezwecke. Beim therapeutischen Einsatz ist der Stimulator normalerweise in einer geeigneten Vorrichtung über dem Kopf des Patienten angeordnet. Da der Therapeut sich während des Betriebs des Geräts nicht in unmittelbarer Nähe befinden muss, kann die Exposition des Arbeitnehmers leicht begrenzt werden. Beim diagnostischen Einsatz wird das Gerät dagegen derzeit noch manuell bedient, wodurch eine unvermeidlich hohe Exposition des Arbeitnehmers besteht. Durch die Entwicklung geeigneter Fernsteuerungsmechanismen für diese Geräte ließe sich die Exposition der Arbeitnehmer verringern.

Abschließend ist anzumerken, dass der Leitfaden modular aufgebaut ist, um den Aufwand für den Großteil der Arbeitgeber gering zu halten, die in der Regel nur den ersten Abschnitt lesen müssen. Einige Arbeitgeber benötigen gegebenenfalls Informationen in Bezug auf besonders gefährdete Arbeitnehmer; diese Arbeitgeber müssen auch den zweiten Abschnitt lesen. Arbeitgeber, in deren Unternehmen starke elektromagnetische Felder auftreten, müssen außerdem den dritten Abschnitt lesen, und für Arbeitgeber, in deren Unternehmen elektromagnetische Felder Risiken beinhalten, ist darüber hinaus der vierte Abschnitt relevant. Der Schwerpunkt im gesamten Leitfaden liegt auf einfachen Vorgehensweisen sowohl in Bezug auf Risikobewertungen als auch im Hinblick auf Präventions- und Schutzmaßnahmen.

INHALT

ABSCHNITT 1 — Alle Arbeitgeber

1	EINLEITUNG UND ZWECK DIESES LEITFADENS	12
1.1	Hinweise zur Verwendung dieses Leitfadens	13
1.2	Einführung in die EMF-Richtlinie	15
1.3	Anwendungsbereich dieses Leitfadens	16
1.4	Konformität mit der Richtlinie 2013/35/EU	16
1.5	Nationale Rechtsvorschriften und weitere Informationsquellen	17
2	GESUNDHEITSSCHÄDLICHE WIRKUNGEN UND SICHERHEITSRISIKEN DURCH ELEKTROMAGNETISCHE FELDER	18
2.1	Direkte Wirkungen	18
2.2	Langzeitwirkungen	18
2.3	Indirekte Auswirkungen	19
3	QUELLEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER	20
3.1	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	21
3.1.1	Arbeitnehmer mit aktiven implantierten medizinischen Geräten (AIMD)	22
3.1.2	Andere besonders gefährdete Arbeitnehmer	22
3.2	Bewertungsanforderungen für allgemeine Tätigkeiten, Arbeitsmittel und Arbeitsplätze	23
3.2.1	Tätigkeiten, Arbeitsmittel und Arbeitsplätze, die voraussichtlich eine spezielle Bewertung erfordern	27
3.3	Nicht in diesem Kapitel aufgeführte Tätigkeiten, Arbeitsmittel und Arbeitsplätze	28

ABSCHNITT 2 — ENTSCHEIDEN, OB WEITERE MASSNAHMEN ZU ERGREIFEN SIND

4	AUFBAU DER EMF-RICHTLINIE	30
4.1	Artikel 3 – Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen	32
4.2	Artikel 4 – Bewertung der Risiken und Ermittlung der Exposition	32
4.3	Artikel 5 – Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Risiken	33
4.4	Artikel 6 – Unterrichtung und Unterweisung der Arbeitnehmer	33
4.5	Artikel 7 – Anhörung und Beteiligung der Arbeitnehmer	34
4.6	Artikel 8 – Gesundheitsüberwachung	34
4.7	Artikel 10 – Ausnahmen	34
4.8	Zusammenfassung	35
5	RISIKOBEWERTUNG IM ZUSAMMENHANG MIT DER EMF-RICHTLINIE	36
5.1	Plattform für die interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung (OIRA)	37
5.2	Schritt 1 – Vorbereitung	37
5.3	Schritt 2 – Ermittlung der Gefahren und der gefährdeten Personen	38
5.3.1	Ermittlung der Gefahren	38
5.3.2	Ermittlung bestehender Präventions- und Schutzmaßnahmen	39
5.3.3	Ermittlung der gefährdeten Personen	39
5.3.4	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	39
5.4	Schritt 3 – Risikobewertung und Prioritätensetzung	39
5.4.1	Risikobewertung	39
5.4.1.1	Direkte Wirkungen	41
5.4.1.2	Indirekte Auswirkungen	41
5.4.1.3	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	42

5.5	Schritt 4 – Entscheidung hinsichtlich Präventions- und Schutzmaßnahmen.....	42
5.6	Schritt 5 – Ergreifen von Maßnahmen.....	43
5.7	Dokumentation der Risikobewertung.....	43
5.8	Überwachung und Überprüfung der Risikobewertung.....	43

ABSCHNITT 3 — KONFORMITÄTSBEWERTUNGEN

6	VERWENDUNG VON EXPOSITIONSGRENZWERTEN UND AUSLÖSESCHWELLEN.....	46
6.1	Auslöseschwellen für direkte Wirkungen.....	48
6.1.1	Auslöseschwellen für elektrische Felder (1 Hz bis 10 MHz).....	49
6.1.2	Auslöseschwellen für Magnetfelder (1 Hz bis 10 MHz).....	50
6.1.3	Auslöseschwellen für elektrische und magnetische Felder (100 kHz bis 300 GHz).....	52
6.1.4	Auslöseschwellen für induzierte Ströme durch die Gliedmaßen (10 MHz bis 110 MHz).....	52
6.2	Auslöseschwellen für indirekte Auswirkungen.....	52
6.2.1	Auslöseschwellen für statische Magnetfelder.....	52
6.2.2	Auslöseschwellen für Kontaktströme (bis zu 110 MHz).....	52
6.3	Expositionsgrenzwerte.....	53
6.3.1	Expositionsgrenzwerte für sensorische und gesundheitliche Wirkungen.....	53
6.3.2	Expositionsgrenzwerte (0 Hz bis 1 Hz).....	54
6.3.3	Expositionsgrenzwerte (1 Hz bis 10 MHz).....	54
6.3.4	Expositionsgrenzwerte (100 kHz bis 300 GHz).....	55
6.4	Ausnahmen.....	55
6.4.1	Auf die Magnetresonanztomografie bezogene Ausnahme.....	56
6.4.2	Auf den militärischen Bereich bezogene Ausnahme.....	57
6.4.3	Allgemeine Ausnahme.....	57
7	NUTZUNG VON DATENBANKEN UND DER VON HERSTELLERN BEREITGESTELLTEN EMISSIONSDATEN.....	58
7.1	Nutzung der von Herstellern bereitgestellten Informationen.....	58
7.1.1	Grundlagen für Bewertungen seitens der Gerätehersteller.....	59
7.2	Bewertungen enthaltende Datenbanken.....	60
7.3	Bereitstellung von Informationen seitens der Gerätehersteller.....	60
7.3.1	Bewertungsnormen.....	60
7.3.2	Existiert keine maßgebliche Norm.....	60
8	BERECHNUNG ODER MESSUNG VON EXPOSITIONEN.....	63
8.1	Anforderungen der EMF-Richtlinie.....	63
8.2	Arbeitsplatzbewertungen.....	63
8.3	Sonderfälle.....	64
8.4	Einholen weiterer Unterstützung.....	64

ABSCHNITT 4 — SIND WEITERE MASSNAHMEN NOTWENDIG?

9	SCHUTZ- UND PRÄVENTIONSMASSNAHMEN.....	68
9.1	Grundsätze der Gefahrenverhütung.....	68
9.2	Ausschluss von Gefahren.....	69
9.3	Ersatz durch weniger gefährliche Verfahren oder Arbeitsmittel.....	69
9.4	Technische Maßnahmen.....	69
9.4.1	Abschirmungen.....	70
9.4.2	Schutzeinrichtungen.....	70
9.4.3	Verriegelungseinrichtungen.....	72
9.4.4	Sensitive Schutzeinrichtungen.....	73
9.4.5	Zweihandschaltungen.....	73
9.4.6	Einrichtungen zum Stillsetzen im Notfall.....	74

9.4.7	Technische Maßnahmen zur Verhinderung von Funkenentladungen	74
9.4.8	Technische Maßnahmen zur Verhinderung von Kontaktströmen	75
9.5	Organisatorische Maßnahmen	75
9.5.1	Abgrenzung und Zugangsbeschränkung	75
9.5.2	Sicherheitszeichen und Sicherheitshinweise	77
9.5.3	Schriftliche Verfahren	79
9.5.4	Betriebliche Sicherheitsinformationen	79
9.5.5	Überwachung und Sicherheitsmanagement	80
9.5.6	Unterrichtung und Unterweisung	80
9.5.7	Gestaltung und Auslegung der Arbeitsstätten und Arbeitsplätze	81
9.5.8	Übernahme guter Arbeitspraktiken	82
9.5.9	Programme zur vorbeugenden Wartung	84
9.5.10	Einschränkung der Bewegung in statischen Magnetfeldern	84
9.5.11	Koordinierung und Kooperation zwischen Arbeitgebern	84
9.6	Persönliche Schutzausrüstung	85
10	NOTFALLVORSORGE	86
10.1	Erstellung von Plänen	86
10.2	Reaktion auf Zwischenfälle	86
11	RISIKEN, SYMPTOME UND GESUNDHEITSÜBERWACHUNG	88
11.1	Risiken und Symptome	88
11.1.1	Statische Magnetfelder (0 Hz bis 1 Hz)	88
11.1.2	Niederfrequente Magnetfelder (1 Hz bis 10 MHz)	88
11.1.3	Niederfrequente elektrische Felder (1 Hz bis 10 MHz)	89
11.1.4	Hochfrequente Felder (100 kHz bis 300 GHz)	89
11.2	Gesundheitsüberwachung	91
11.3	Ärztliche Untersuchung	91
11.4	Gesundheitsakten	92

ABSCHNITT 5 — WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

Anhang A	Arten elektromagnetischer Felder	94
Anhang B	Gesundheitliche Wirkungen elektromagnetischer Felder	98
Anhang C	Physikalische Größen und Einheiten im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern	103
Anhang D	Expositionsbewertung	110
Anhang E	Indirekte Auswirkungen und besonders gefährdete Arbeitnehmer	159
Anhang F	Hinweise zur Magnetresonanztomografie	167
Anhang G	Vorgaben sonstiger europäischer Regelwerke	179
Anhang H	Europäische und internationale Normen	186
Anhang I	Ressourcen	188
Anhang J	Glossar und Abkürzungen	192
Anhang K	Bibliografie	196
Anhang L	Richtlinie 2013/35/EU	198

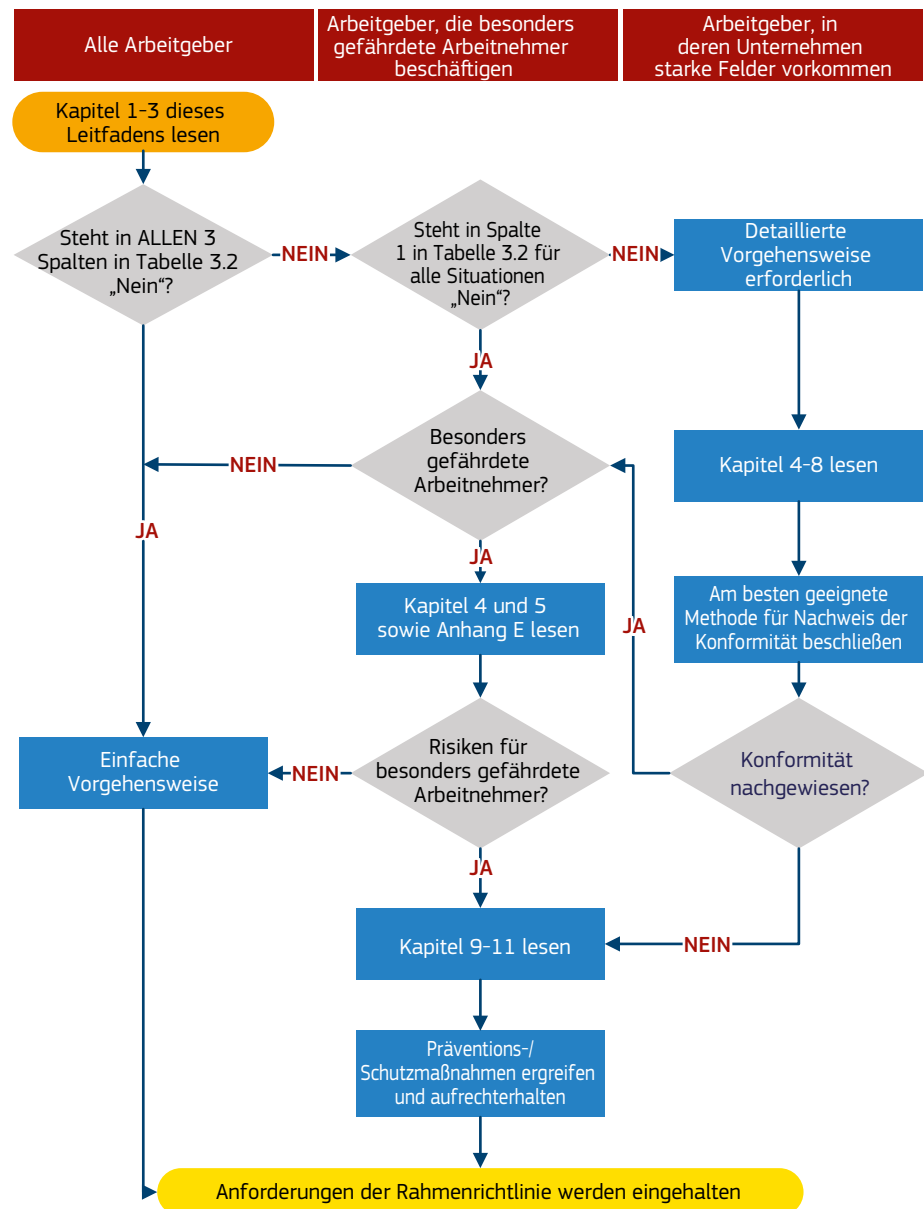
Abschnitt 1

ALLE ARBEITGEBER

1 EINLEITUNG UND ZWECK DIESES LEITFADENS

Das Vorkommen elektromagnetischer Felder (EMF), die Gegenstand der EMF-Richtlinie (Richtlinie 2013/35/EU) sind, ist eine Lebensrealität in der entwickelten Welt, denn diese Felder entstehen überall dort, wo Elektrizität genutzt wird. Die meisten Arbeitnehmer sind Feldstärken ausgesetzt, die keine schädlichen Wirkungen verursachen. Allerdings kann die Feldstärke an bestimmten Arbeitsplätzen eine Gefährdung darstellen. Sinn und Zweck der EMF-Richtlinie ist es, die Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer in solchen Situationen sicherzustellen. Eine der Hauptschwierigkeiten für die Arbeitgeber besteht darin, festzustellen, ob sie weitere spezielle Maßnahmen ergreifen müssen oder nicht.

Abbildung 1.1 Überblick über die Verwendung des vorliegenden Leitfadens



1.1 Hinweise zur Verwendung dieses Leitfadens

Dieser Leitfaden richtet sich in erster Linie an kleine und mittlere Unternehmen. Er kann aber auch für Arbeitnehmer, Arbeitnehmervertreter und Aufsichtsbehörden in den Mitgliedstaaten von Nutzen sein.

Er dient Ihnen als Unterstützung bei der Durchführung einer ersten Bewertung der von elektromagnetischen Feldern am Arbeitsplatz ausgehenden Gefährdungen. Auf Grundlage der Bewertungsergebnisse können Sie mithilfe des Leitfadens feststellen, ob Sie infolge der EMF-Richtlinie weitere Maßnahmen ergreifen müssen. Ist das der Fall, liefert der Leitfaden praktische Hinweise zu den möglichen Maßnahmen.

Dieser Leitfaden soll Ihnen das Verständnis erleichtern, in welcher Form bestimmte Tätigkeiten von der EMF-Richtlinie betroffen sein können. Er hat keinen rechtsverbindlichen Charakter und enthält keine Auslegungen zu spezifischen rechtlichen Anforderungen, die in bestimmten Fällen einzuhalten sind. Dementsprechend sollte er in Verbindung mit der EMF-Richtlinie (siehe Anhang L), der Rahmenrichtlinie (89/391/EWG) und den einschlägigen nationalen Rechtsvorschriften angewendet werden.

In der EMF-Richtlinie sind die Mindestvorschriften zum Schutz der Sicherheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch elektromagnetische Felder festgelegt. Allerdings werden nur wenige Arbeitgeber eine Messung oder Berechnung der elektromagnetischen Felder an den Arbeitsplätzen vornehmen müssen. In der Mehrzahl der Fälle gestaltet sich die Tätigkeit derart, dass nur von geringen Gefährdungen auszugehen ist, was sich relativ einfach feststellen lässt. Der vorliegende Leitfaden ist so aufgebaut, dass Arbeitgeber, die die Anforderungen bereits einhalten, einen schnellen Überblick erhalten, ohne den gesamten Leitfaden lesen zu müssen.

Die Verwendung dieses Leitfadens ist im Ablaufdiagramm in Abbildung 1.1 veranschaulicht. Der Leitfaden unterteilt sich in vier Abschnitte.

1. Der erste Abschnitt (Kapitel 1 bis 3) richtet sich an alle Leser. Er enthält eine allgemeine Einführung, Hinweise zur Verwendung des Leitfadens, einen Überblick über die wichtigsten gesundheitsschädlichen Wirkungen und Sicherheitsrisiken infolge der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern sowie Erläuterungen zu Quellen elektromagnetischer Felder. Es ist zu beachten, dass Kapitel 3 eine Liste allgemeiner Arbeitsmittel, Tätigkeiten und Situationen enthält, bei denen die elektromagnetischen Felder so schwach ausfallen dürften, dass die Arbeitgeber keine weiteren Maßnahmen ergreifen müssen. Die meisten Arbeitgeber, die die Anforderungen der Rahmenrichtlinie bereits einhalten, sollten anhand dieser Tabelle bestimmen können, dass sie ihren Pflichten bereits nachgekommen sind. Für diese Arbeitgeber hat der vorliegende Leitfaden seinen Zweck erfüllt, und die Betroffenen brauchen nicht weiterzulesen.
2. Der zweite Abschnitt (Kapitel 4 und 5) richtet sich an diejenigen Arbeitgeber, die noch nicht feststellen konnten, ob sie weitere Maßnahmen ergreifen müssen. Sie benötigen ein besseres Verständnis der Anforderungen der EMF-Richtlinie und müssen eine spezielle Risikobewertung im Hinblick auf die elektromagnetischen Felder in ihrer Arbeitsstätte durchführen. Für manche Arbeitgeber kann eine solche Bewertung notwendig sein, da sie Arbeitnehmer beschäftigen, die durch elektromagnetische Felder besonders gefährdet sind. Je nach Ergebnis dieser Bewertung werden diese Arbeitgeber direkt zum vierten Abschnitt geleitet. Bei anderen Arbeitgebern sind die elektromagnetischen Felder an den Arbeitsplätzen in ihrem Unternehmen unter Umständen so stark, dass sie ein Risiko für alle Arbeitnehmer darstellen. Für diese Arbeitgeber ist ebenfalls der dritte Abschnitt relevant.
3. Der dritte Abschnitt (Kapitel 6, 7 und 8) richtet sich an Arbeitgeber, die feststellen müssen, ob Auslöseschwellen und gegebenenfalls Expositionsgrenzwerte überschritten werden. Häufig kann nachgewiesen werden, dass dies nicht der Fall

ist und die bestehenden Arbeitsmethoden annehmbar sind. Allerdings müssen die betroffenen Arbeitgeber eine detailliertere Risikobewertung und eine bessere Einschätzung der Expositionen vornehmen. Für viele dieser Arbeitgeber genügt es, den Leitfaden bis einschließlich Kapitel 7 zu lesen; manche Arbeitgeber dürften aber auch Kapitel 8 als hilfreich erachten.

4. Der vierte Abschnitt (Kapitel 9, 10 und 11) richtet sich an eine kleine Minderheit von Arbeitgebern, die Expositionen feststellen, die einen Expositionsgrenzwert überschreiten, oder die sonstige Risiken ermitteln, die verringert werden müssen. Diese Arbeitgeber müssen Maßnahmen zum Schutz ihrer Arbeitnehmer ergreifen. Die betroffenen Arbeitgeber sollten bereits die vorhergehenden Kapitel dieses Leitfadens gelesen haben.

Der vorliegende Leitfaden führt Sie auf logische Weise durch die Bewertung der Risiken, die aus der Exposition der Arbeitnehmer gegenüber elektromagnetischen Feldern resultieren.

Tabelle 1.1 Ablauf der Bewertung von Risiken durch elektromagnetische Felder mithilfe dieses Leitfadens

Bei durchgängig geringen Risiken durch elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich.

Für die Arbeitgeber empfiehlt es sich, zu dokumentieren, dass sie den Arbeitsplatz überprüft haben und zu diesem Ergebnis gelangt sind.

Sind die Risiken durch elektromagnetische Felder nicht gering oder nicht bekannt, sollten die Arbeitgeber einem Prozess zur Risikobewertung folgen und gegebenenfalls geeignete Vorkehrungen treffen.

In Kapitel 4 werden die Anforderungen der EMF-Richtlinie beschrieben, und in Kapitel 5 wird eine vorgeschlagene Methodik zur Bewertung der von elektromagnetischen Feldern ausgehenden Risiken erläutert. Ein mögliches Ergebnis ist, dass keine wesentlichen Risiken vorliegen. In diesem Fall sollte die Bewertung dokumentiert werden, und der Prozess endet an dieser Stelle.

In Kapitel 6 wird die Verwendung von Expositionsgrenzwerten und Auslöseschwellen erläutert. Außerdem werden Ausnahmen behandelt.

Zur allgemeinen Hilfestellung bei der Risikobewertung und zur konkreten Bewertung der Einhaltung der Vorschriften im Zusammenhang mit Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerten benötigen die Arbeitgeber gegebenenfalls Informationen über die Stärke elektromagnetischer Felder. Diese Angaben finden sich teilweise in Datenbanken oder können bei Herstellern erfragt werden (Kapitel 7). Erforderlichenfalls müssen Berechnungen oder Messungen angestellt werden (Kapitel 8).

In Kapitel 9 werden Präventions- und Schutzmaßnahmen beschrieben, die unter Umständen notwendig sind, um die Gefährdung zu verringern.

Kapitel 10 enthält Hinweise zur Notfallvorsorge, und in Kapitel 11 wird auf Risiken, Symptome und Gesundheitsüberwachung eingegangen.

Damit der Aufwand für die Arbeitgeber möglichst gering ist, wurden die Kapitel in diesem Leitfaden so kurz wie möglich gehalten. Arbeitgeber und andere in die Risikobewertung involvierte Personen können den Anhängen in diesem Leitfaden weitere Informationen entnehmen (Tabelle 1.2):

Tabelle 1.2 — Anhänge in diesem Leitfaden

A – Arten elektromagnetischer Felder

B – Gesundheitliche Wirkungen elektromagnetischer Felder

C – Physikalische Größen und Einheiten im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern

D – Expositionsbewertung

E – Indirekte Auswirkungen und besonders gefährdete Arbeitnehmer

F – Hinweise zur Magnetresonanztomografie

G – Vorgaben sonstiger europäischer Regelwerke

H – Europäische und internationale Normen

I – Ressourcen

J – Glossar, Abkürzungen und Symbole in Ablaufdiagrammen

K – Bibliografie

L – Richtlinie 2013/35/EU

1.2 Einführung in die EMF-Richtlinie

Alle Arbeitgeber sind verpflichtet, die Gefährdung, die von den Tätigkeiten in ihrer Arbeitsstätte ausgeht, zu beurteilen sowie Schutz- und Präventionsmaßnahmen zur Verringerung der ermittelten Risiken zu ergreifen. Diese Pflichten sind eine Auflage der Rahmenrichtlinie. Die EMF-Richtlinie wurde eingeführt, damit Arbeitgeber ihren allgemeinen Pflichten aus der Rahmenrichtlinie im speziellen Fall von elektromagnetischen Feldern am Arbeitsplatz leichter nachkommen können. Da die Arbeitgeber die Anforderungen der Rahmenrichtlinie bereits erfüllen werden, wird die Mehrzahl von ihnen feststellen, dass sie auch schon mit der EMF-Richtlinie vollständig konform sind und keine zusätzlichen Schritte unternehmen müssen.

Elektromagnetische Felder sind in der EMF-Richtlinie als statische elektrische, statische magnetische sowie zeitvariable elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder mit Frequenzen bis 300 GHz definiert. Diese Begriffe werden im vorliegenden Leitfaden nur dann verwendet, wenn dies aus Gründen der Klarheit hilfreich ist.

Elektromagnetische Felder entstehen durch eine Vielzahl von Quellen, mit denen Arbeitnehmer am Arbeitsplatz zu tun haben können. Sie werden bei unterschiedlichen Arbeiten und Tätigkeiten erzeugt und genutzt, beispielsweise in Fertigungsprozessen, in der Forschung, bei der Kommunikation, in medizinischen Anwendungen, bei der Erzeugung, Übertragung und Verteilung von Strom, im Rundfunk, bei der Navigation in Luft- und Schifffahrt sowie im Sicherheitsbereich. Elektromagnetische Felder können auch zufällig auftreten, wie Felder, die in der Nähe von Stromleitungen in Gebäuden entstehen oder durch den Gebrauch elektrischer Geräte und Arbeitsmittel hervorgerufen werden. Da die meisten Felder elektrisch erzeugt werden, sind sie nach Abschalten des Stroms nicht mehr vorhanden.

Die EMF-Richtlinie befasst sich mit nachgewiesenen direkten Wirkungen und indirekten Auswirkungen elektromagnetischer Felder; sie geht nicht auf vermutete gesundheitliche Langzeitwirkungen ein (siehe Abschnitt 2.2). Die direkten Wirkungen unterteilen sich in nichtthermische Wirkungen, wie etwa die Stimulation von Nerven, Muskeln oder Sinnesorganen, und thermische Wirkungen, wie etwa Gewebeerwärmung (siehe Abschnitt 2.1). Indirekte Auswirkungen ergeben sich, wenn das Vorhandensein eines Gegenstands in einem elektromagnetischen Feld eine Gefahr für Sicherheit oder Gesundheit hervorrufen kann (siehe Abschnitt 2.3).

1.3 Anwendungsbereich dieses Leitfadens

Dieser Leitfaden soll Arbeitgebern bei der Einhaltung der Vorschriften der EMF-Richtlinie praktische Hilfestellung bieten. Er richtet sich an alle Unternehmen, in denen Arbeitnehmer elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sind. Auch wenn die EMF-Richtlinie keine bestimmten Arbeiten oder Technologien konkret ausnimmt, werden die Felder an vielen Arbeitsplätzen so schwach ausfallen, dass keine Gefährdung besteht. Der vorliegende Leitfaden enthält eine Liste allgemeiner Tätigkeiten, Arbeitsmittel und Arbeitsplätze, bei denen die Felder so schwach ausfallen dürften, dass die Arbeitgeber keine weiteren Maßnahmen ergreifen müssen. Der Leitfaden geht nicht auf Fragen der elektromagnetischen Verträglichkeit ein, die an anderer Stelle diskutiert werden.

Die EMF-Richtlinie verlangt von den Arbeitgebern, besonders gefährdete Arbeitnehmer zu berücksichtigen, u. a. Arbeitnehmer, die aktive oder passive implantierte medizinische Geräte tragen (z. B. Herzschrittmacher), Arbeitnehmer, die medizinische Geräte am Körper tragen (z. B. Insulinpumpen), sowie schwangere Arbeitnehmerinnen. Der Leitfaden enthält Ratschläge für solche Fälle.

Manche der möglichen Expositionsszenarien sind sehr speziell oder äußerst komplex und würden daher den Rahmen dieses Leitfadens sprengen. In einigen Industriezweigen mit bestimmten Expositionsszenarien werden zum Teil eigene Hilfsdokumente zur EMF-Richtlinie erarbeitet. Diese sollten im Bedarfsfall zurate gezogen werden (siehe Anhang I). Arbeitgeber, in deren Unternehmen komplexe Expositionsszenarien vorhanden sind, sollten zusätzlichen Rat zur Bewertung suchen (siehe Kapitel 8 und Anhang I).

1.4 Konformität mit der Richtlinie 2013/35/EU

Dieser Leitfaden wurde erstellt, um Artikel 14 der EMF-Richtlinie nachzukommen. Tabelle 1.3 zeigt, welche Kapitel des vorliegenden Leitfadens den jeweiligen Artikeln der EMF-Richtlinie entsprechen.

Tabelle 1.3 Entsprechung zwischen den Artikeln der EMF-Richtlinie und den Abschnitten dieses Leitfadens

Artikel und Anleitung	Abschnitt im Leitfaden
Artikel 2: Begriffsbestimmungen	
Hintergrundinformationen	Anhänge A, B
In der EMF-Richtlinie verwendete physikalische Größen und Einheiten	Anhang C
Begriffe und Abkürzungen	Anhang J
Artikel 3: Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen	
Begrenzung der Exposition	Abschnitt 6.3
Anwendung von Auslöseschwellen	Abschnitte 6.1, 6.2
Erforderliche Maßnahmen	Abschnitte 9.4, 9.5
Artikel 4: Bewertung der Risiken und Ermittlung der Exposition	
Risikobewertung	Kapitel 5
Indirekte Auswirkungen und besonders gefährdete Arbeitnehmer	Abschnitte 5.3, 5.4 und Anhang E
Bewertung der Exposition anhand verfügbarer Informationen	Kapitel 7
Bewertung der Exposition durch Messung oder Berechnung	Kapitel 8 und Anhang D
Artikel 5: Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Risiken	
Grundsätze der Gefahrenverhütung	Abschnitt 9.1
Technische Maßnahmen	Abschnitt 9.4
Organisatorische Maßnahmen	Abschnitt 9.5
Persönliche Schutzausrüstung	Abschnitt 9.6

Artikel 6: Unterrichtung und Unterweisung der Arbeitnehmer

Unterrichtung der Arbeitnehmer	Abschnitt 9.5 und Anhang E
Unterweisung der Arbeitnehmer	Abschnitt 9.5 und Anhänge A, B

Artikel 7: Anhörung und Beteiligung der Arbeitnehmer

Anhörung und Beteiligung der Arbeitnehmer	Kapitel 4
---	-----------

Artikel 8: Gesundheitsüberwachung

Symptome	Abschnitt 11.1
Gesundheitsüberwachung	Abschnitt 11.2
Ärztliche Untersuchung	Abschnitt 11.3

Artikel 10: Ausnahmen

Ausnahmen	Abschnitt 6.4 und Anhang F
-----------	----------------------------

1.5 Nationale Rechtsvorschriften und weitere Informationsquellen

Mit der Verwendung dieses Leitfadens werden nicht zwangsläufig die gesetzlichen Anforderungen zum Schutz vor elektromagnetischen Feldern in den verschiedenen EU-Mitgliedstaaten eingehalten. Die Rechtsvorschriften, mit denen die Mitgliedstaaten die Richtlinie 2013/35/EU umgesetzt haben, haben stets Vorrang. Sie können über die Mindestanforderungen der EMF-Richtlinie, auf deren Grundlage dieser Leitfaden erstellt wurde, hinausgehen. Weitere Informationen können gegebenenfalls bei den in Anhang I aufgeführten Aufsichtsbehörden eingeholt werden.

Zur einfacheren Umsetzung der Anforderungen der EMF-Richtlinie gestalten die Hersteller z. T. ihre Produkte so, dass elektromagnetische Felder, denen Arbeitnehmer ausgesetzt sein können, auf ein Mindestmaß reduziert werden. Mitunter machen sie auch Angaben zu den Feldern, die beim bestimmungsgemäßen Gebrauch der Geräte entstehen, sowie zur damit zusammenhängenden Gefährdung. Die Nutzung von Herstellerangaben wird in Kapitel 7 eingehender erläutert.

Die Anhänge in diesem Leitfaden enthalten zusätzliche Informationsquellen. In Anhang I werden nationale Organisationen und Handelsverbände aufgeführt, und Anhang J enthält ein Glossar, eine Abkürzungsliste und eine Erklärung der in den Ablaufdiagrammen in diesem Leitfaden verwendeten Symbole. In der Bibliografie in Anhang K werden nützliche Publikationen genannt.

2 GESUNDHEITSSCHÄDLICHE WIRKUNGEN UND SICHERHEITSRISIKEN DURCH ELEKTROMAGNETISCHE FELDER

Welcherlei Wirkungen elektromagnetische Felder auf Menschen haben, hängt in erster Linie von der Frequenz und der Stärke solcher Felder ab. Andere Faktoren, wie die jeweilige Wellenform, können vereinzelt ebenfalls eine Rolle spielen. Manche Felder bewirken eine Stimulation von Sinnesorganen, Nerven und Muskeln, andere führen zu Erwärmung. Die erwärmungsbedingten Wirkungen werden in der EMF-Richtlinie als *thermische Wirkungen* bezeichnet, die übrigen Wirkungen als *nichtthermische Wirkungen*. Anhang B enthält weitere Einzelheiten über die gesundheitlichen Wirkungen einer Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern.

Zu beachten ist hierbei, dass all diese Wirkungen einen Schwellenwert besitzen, unterhalb dessen keine Gefährdung besteht, und dass Expositionen, die unter dem Schwellenwert liegen, in keiner Weise kumulativ sind. Die expositionsbedingten Wirkungen sind vorübergehend und beschränken sich auf die Dauer der Exposition. Sobald keine Exposition mehr gegeben ist, hören die Wirkungen auf oder lassen nach. Somit besteht nach Ende der Exposition kein Gesundheitsrisiko mehr.

2.1 Direkte Wirkungen

Direkte Wirkungen sind Veränderungen, die bei einer Person infolge der Exposition gegenüber einem elektromagnetischen Feld auftreten. Die EMF-Richtlinie geht nur auf gut abschätzbare Wirkungen ein, die auf bekannten Mechanismen beruhen. Sie unterscheidet zwischen sensorischen Wirkungen und gesundheitlichen Wirkungen, die als schwerwiegender gelten.

Die direkten Wirkungen sind:

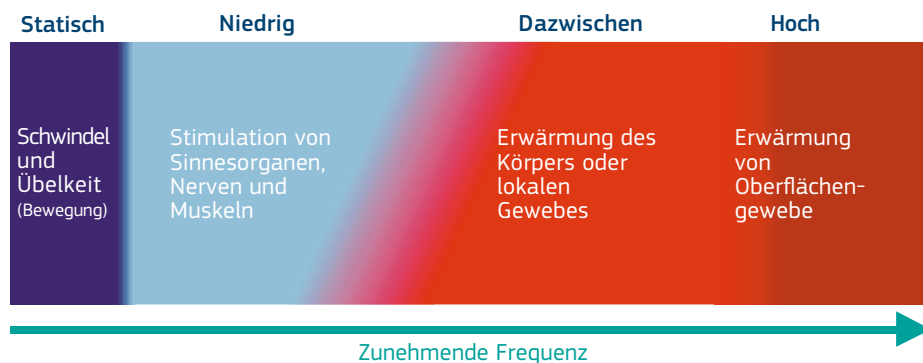
- Schwindel und Übelkeit durch statische Magnetfelder (im Allgemeinen bei Bewegungen, aber auch im ruhenden Zustand);
- Wirkungen auf Sinnesorgane, Nerven und Muskeln durch niederfrequente Felder (bis zu 100 kHz);
- Erwärmung des gesamten Körpers oder von Körperteilen durch hochfrequente Felder (10 MHz und mehr); bei mehr als einigen GHz beschränkt sich die Erwärmung überwiegend auf die Körperoberfläche;
- Wirkungen auf Nerven und Muskeln sowie Erwärmung durch Zwischenfrequenzen (100 kHz bis 10 MHz).

Diese Konzepte sind in Abbildung 2.1 veranschaulicht. Anhang B enthält weitere Informationen über direkte Wirkungen.

2.2 Langzeitwirkungen

In der EMF-Richtlinie werden die möglichen Langzeitwirkungen einer Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern nicht berücksichtigt, da derzeit keine gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnisse für einen Kausalzusammenhang vorliegen. Sollten jedoch entsprechende gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden, wird die Europäische Kommission prüfen, mit welchen Mitteln diese Wirkungen am besten bekämpft werden können.

Abbildung 2.1 Die Wirkungen elektromagnetischer Felder in unterschiedlichen Frequenzbereichen (Frequenzintervalle nicht maßstabsgerecht)



2.3 Indirekte Auswirkungen

Durch das Vorhandensein eines Gegenstands im elektromagnetischen Feld kann es zu unerwünschten Auswirkungen kommen, die eine Gefahr für Sicherheit oder Gesundheit hervorrufen können. Das Berühren von unter Spannung stehenden Leitern fällt nicht in den Geltungsbereich der EMF-Richtlinie.

Die indirekten Auswirkungen sind:

- Störungen bei elektronischen medizinischen Vorrichtungen und anderen Geräten;
- Beeinflussung von aktiven implantierten medizinischen Geräten oder Ausrüstungen, z. B. Herzschrittmacher oder Defibrillatoren;
- Störungen bei am Körper getragenen medizinischen Geräten wie Insulinpumpen;
- Beeinflussung von passiven Implantaten (künstliche Gelenke, Stifte, Drähte oder Metallplatten);
- Auswirkungen auf Geschosssplitter, Piercings, Tätowierungen und Körperkunst;
- Verletzungsrisiko durch die Projektilwirkung loser ferromagnetischer Gegenstände in statischen Magnetfeldern;
- unbeabsichtigte Auslösung von Detonatoren;
- Brände und Explosionen durch die Entzündung von entzündlichen oder explosiven Materialien;
- Stromschläge oder Verbrennungen durch Kontaktströme, wenn eine Person einen leitfähigen Gegenstand in einem elektromagnetischen Feld berührt und nur entweder die Person oder der Gegenstand geerdet ist.

Kapitel 5 und Anhang E enthalten weitere Informationen über indirekte Auswirkungen sowie darüber, wie die entsprechenden Risiken am Arbeitsplatz eingedämmt werden können.



Wichtig: Wirkungen elektromagnetischer Felder

Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz können direkte Wirkungen oder indirekte Auswirkungen haben. Direkte Wirkungen ergeben sich aus der Beeinflussung des Körpers durch die Felder und können nichtthermischer oder thermischer Art sein. Indirekte Auswirkungen resultieren aus dem Vorhandensein eines Gegenstands im elektromagnetischen Feld und können eine Gefahr für Sicherheit oder Gesundheit hervorrufen.

3 QUELLEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER

In der modernen Gesellschaft ist jeder Mensch elektrischen und magnetischen Feldern aus vielerlei Quellen ausgesetzt, z. B. durch elektrische Betriebsmittel, Rundfunkübertragungen und Kommunikationsgeräte (Abbildung 3.1). Anhang A enthält weitere Informationen über Arten elektromagnetischer Felder. Von den meisten Quellen elektromagnetischer Felder, die sowohl zu Hause als auch bei der Arbeit vorzufinden sind, geht ein extrem geringes Expositionsniveau aus. Bei diesen Alltagstätigkeiten sind Expositionen, die über die in der EMF-Richtlinie festgelegten Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerte hinausgehen, daher unwahrscheinlich.

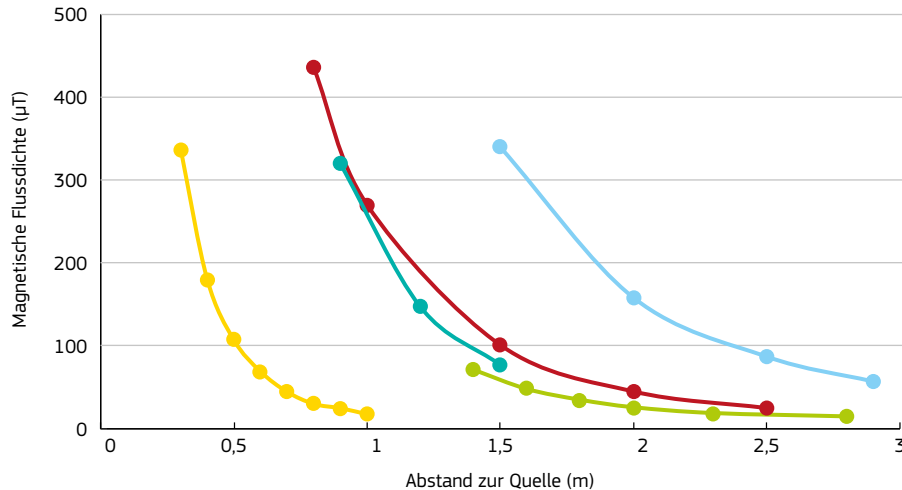
Abbildung 3.1 Schematische Darstellung des elektromagnetischen Spektrums mit üblichen Quellen



Dieser Leitfaden will Arbeitgeber über Quellen elektromagnetischer Felder im Arbeitsumfeld informieren, damit sie feststellen können, ob eine weitere Bewertung der Gefährdung, die von elektromagnetischen Feldern ausgeht, notwendig ist. Das Ausmaß und die Stärke elektromagnetischer Felder hängen von den Spannungen, Strömen und Frequenzen ab, mit denen ein Gerät betrieben wird bzw. die es erzeugt, sowie von der Konstruktion des Geräts. Manche Geräte sind so konstruiert, dass sie absichtlich externe elektromagnetische Felder erzeugen. In diesem Fall können kleine Geräte mit begrenzter Leistung erhebliche externe elektromagnetische Felder verursachen. Generell bedürfen Geräte, die hohe Ströme oder hohe Spannungen benötigen oder so konstruiert sind, dass sie elektromagnetische Strahlung abgeben, einer eingehenderen Bewertung. Anhang C enthält weitere Informationen über gängige physikalische Größen und Einheiten, die zur Beurteilung elektromagnetischer Felder verwendet werden. Hinweise zur Risikobewertung im Zusammenhang mit der EMF-Richtlinie sind in Kapitel 5 zu finden.

Die Stärke eines elektromagnetischen Feldes nimmt mit der Entfernung von der Quelle rapide ab (Abbildung 3.2). Die Exposition von Arbeitnehmern lässt sich verringern, wenn der Zugang zu den gerätenahen Bereichen während des Betriebs der Geräte beschränkt werden kann. Es darf auch nicht vergessen werden, dass elektromagnetische Felder, sofern sie nicht von einem Dauermagneten oder supraleitenden Magneten erzeugt werden, normalerweise abgebaut werden, wenn die Stromzufuhr zum Gerät abgeschaltet wird.

Abbildung 3.2 Abnahme der magnetischen Flussdichte mit zunehmendem Abstand zur Quelle für verschiedene Quellen mit Netzfrequenz: Punktschweißgerät (●—●); Entmagnetisierungsspule 0,5 m (●—●); Induktionsofen 180 kW (●—●); Nahtschweißgerät 100 kVA (●—●); Entmagnetisierungsspule 1 m (●—●)



Die restlichen Abschnitte dieses Kapitels sollen es Arbeitgebern erleichtern, zwischen Arbeitsmitteln, Tätigkeiten und Situationen zu unterscheiden, von denen vermutlich keine Gefährdung ausgeht, und solchen, in denen Präventions- oder Schutzmaßnahmen notwendig sein können, um die Arbeitnehmer zu schützen.

3.1 Besonders gefährdete Arbeitnehmer

Bestimmte Arbeitnehmergruppen (siehe Tabelle 3.1) gelten im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern als besonders gefährdet. Diese Arbeitnehmer werden durch die Auslöseschwellen aus der EMF-Richtlinie unter Umständen nicht angemessen geschützt. Arbeitgeber müssen deren Exposition daher getrennt von derjenigen anderer Arbeitnehmer untersuchen.

Besonders gefährdete Arbeitnehmer werden bei Einhaltung der Referenzwerte, die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannt sind, normalerweise angemessen geschützt (siehe Anhang E). Einer sehr kleinen Minderheit bieten allerdings auch diese Referenzwerte womöglich keinen angemessenen Schutz. Die betreffenden Personen werden von ihren behandelnden Ärzten entsprechend beraten worden sein. So können die Arbeitgeber besser feststellen, ob ein Arbeitnehmer am Arbeitsplatz gefährdet ist.

Tabelle 3.1 Besonders gefährdete Arbeitnehmer im Sinne der EMF-Richtlinie

Besonders gefährdete Arbeitnehmer	Beispiele
Arbeitnehmer mit aktiven implantierten medizinischen Geräten (AIMD)	Herzschrittmacher, Defibrillatoren, Cochlea-Implantate, Hirnstammimplantate, Innenohrprothesen, Neurostimulatoren, Retina-Encoder, implantierte Medikamentenpumpen
Arbeitnehmer mit passiven implantierten medizinischen Geräten, die Metall enthalten	Künstliche Gelenke, Stifte, Platten, Schrauben, Wundklammern, Aneurysmenklammern, Stents, Herzklappenprothesen, Anuloplastie-Ringe, metallhaltige Verhütungsimplantate, einzelne AIMD
Arbeitnehmer mit am Körper getragenen medizinischen Geräten	Externe Hormonpumpen
Schwangere Arbeitnehmerinnen	

Anmerkung: Bei der Untersuchung, ob Arbeitnehmer womöglich besonders gefährdet sind, sollten die Arbeitgeber die Häufigkeit, das Niveau und die Dauer der Exposition berücksichtigen.

3.1.1 Arbeitnehmer mit aktiven implantierten medizinischen Geräten (AIMD)

Eine Gruppe besonders gefährdeter Arbeitnehmer sind solche mit aktiven implantierten medizinischen Geräten (AIMD). Das hängt damit zusammen, dass starke elektromagnetische Felder den normalen Betrieb dieser aktiven Implantate stören können. Für die Gerätehersteller gibt es gesetzliche Vorgaben, dass die angemessene Störfestigkeit ihrer Produkte gewährleistet sein muss und die Geräte routinemäßig in Bezug auf Feldstärken getestet werden, die im öffentlichen Bereich vorkommen können. Daher sollten Feldstärken bis zu den Referenzwerten aus der Empfehlung 1999/519/EG des Rates den Betrieb dieser Geräte nicht beeinträchtigen. Jedoch können Feldstärken, die *an der Stelle des Geräts oder seiner Messleitungen* (sofern vorhanden) über diese Referenzwerte hinausgehen, zu einer Fehlfunktion führen und so die Träger gefährden.

Zwar können in manchen der Arbeitssituationen, die in diesem Leitfaden genannt werden, starke Felder entstehen, oft werden sie aber örtlich sehr begrenzt sein. Die Risiken lassen sich somit steuern, indem sichergestellt wird, dass das starke Feld nicht in unmittelbarer Nähe des Implantats erzeugt wird. Beispielsweise könnte das Feld, das von einem Mobiltelefon ausgeht, einen Herzschrittmacher stören, wenn das Telefon nah an den Schrittmacher gehalten wird. Dennoch können Menschen mit Herzschrittmachern gefahrlos Mobiltelefone benutzen. Sie müssen lediglich darauf achten, das Telefon von der Brust wegzuhalten.

In Spalte 3 von Tabelle 3.2 werden die Fälle aufgeführt, in denen eine spezielle Bewertung für Arbeitnehmer mit aktiven Implantaten notwendig ist, weil in unmittelbarer Nähe des Implantats oder seiner Messleitungen (sofern vorhanden) starke Felder erzeugt werden können. Häufig wird die Bewertung ergeben, dass die Arbeitnehmer schlicht die ärztlichen Anweisungen befolgen müssen, die sie beim Einsetzen des Implantats erhalten haben.

Wenn Arbeitnehmer oder andere Personen mit aktiven Implantaten Zugang zu entsprechenden Arbeitsplätzen haben, müssen die Arbeitgeber klären, ob eine eingehendere Bewertung erforderlich ist. Hierbei gilt es zu beachten, dass bei einigen Arbeitssituationen in Tabelle 3.2 zwischen Personen, die eine Tätigkeit selbst ausführen, und der am Arbeitsplatz erfolgenden Tätigkeit unterschieden wird. Im letztgenannten Fall dürfte kein starkes Feld in unmittelbarer Nähe des Implantats entstehen. Eine Bewertung ist daher normalerweise nicht nötig.

In wenigen Situationen (wie beim Induktionsschmelzen) werden sehr starke Felder erzeugt. In diesen Fällen wird der Bereich, in dem die Referenzwerte aus der Empfehlung 1999/519/EG des Rates möglicherweise überschritten werden, im Allgemeinen viel größer sein. Infolgedessen wird die Bewertung vermutlich komplexer ausfallen (siehe Anhang E), und es kann erforderlich sein, Zugangsbeschränkungen einzurichten.

3.1.2 Andere besonders gefährdete Arbeitnehmer

Für die anderen Gruppen besonders gefährdeter Arbeitnehmer (siehe Tabelle 3.1) werden örtlich sehr begrenzte Felder in der Regel keine Gefährdung darstellen. Stattdessen werden diese Arbeitnehmer dann gefährdet sein, wenn bei Tätigkeiten aller Wahrscheinlichkeit nach Felder entstehen, die die Referenzwerte aus der Empfehlung 1999/519/EG des Rates in allgemein zugänglichen Bereichen überschreiten. Typische Situationen, in denen dies vorkommen kann, sind in Spalte 2 von Tabelle 3.2 enthalten. Sie bedürfen einer speziellen Bewertung.

Wenn eine Bewertung für besonders gefährdete Arbeitnehmer notwendig ist, sollten Arbeitgeber Anhang E zurate ziehen.



Wichtig: Besonders gefährdete Arbeitnehmer

Arbeitnehmer mit aktiven Implantaten können durch starke Felder am Arbeitsplatz gefährdet sein. Diese Felder sind oft örtlich sehr begrenzt, und die Risiken lassen sich in der Regel angemessen steuern, indem einige einfache Vorsichtsmaßnahmen auf Grundlage der ärztlichen Empfehlungen getroffen werden.

Zwar können starke Felder auch für andere Gruppen von Arbeitnehmern (solche mit passiven Implantaten, mit am Körper getragenen medizinischen Geräten und schwangere Arbeitnehmerinnen) eine besondere Gefährdung darstellen, doch ist dies nur in sehr wenigen Situationen wahrscheinlich (siehe Tabelle 3.2).

3.2 Bewertungsanforderungen für allgemeine Tätigkeiten, Arbeitsmittel und Arbeitsplätze

Tabelle 3.2 führt viele allgemeine Tätigkeiten, Arbeitsmittel und Arbeitsplätze auf und gibt an, ob für folgende Arbeitnehmergruppen voraussichtlich Bewertungen vorgenommen werden müssen:

- Arbeitnehmer mit aktiven Implantaten;
- andere besonders gefährdete Arbeitnehmer;
- Arbeitnehmer ohne besonderes Risiko.

Die Tabelleneinträge richten sich danach, ob in einer Situation höhere Feldstärken als die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte wahrscheinlich sind und ob die Felder in einem solchen Fall örtlich sehr begrenzt sein dürften oder nicht.

In Tabelle 3.2 wird davon ausgegangen, dass die verwendeten Arbeitsmittel aktuellen Normen entsprechen, ordnungsgemäß gewartet wurden und wie vom Hersteller vorgesehen eingesetzt werden. Auf Arbeiten, bei denen sehr alte Arbeitsmittel zum Einsatz kommen, die nicht den Normen entsprechen oder unzulänglich gewartet wurden, trifft die Orientierungshilfe in Tabelle 3.2 mitunter nicht zu.

Steht für jede Tätigkeit am Arbeitsplatz in allen drei Spalten ein „Nein“, ist vermutlich keine spezielle Bewertung hinsichtlich der EMF-Richtlinie notwendig, da keine Gefährdung von elektromagnetischen Feldern ausgehen dürfte. In diesen Fällen sind in der Regel keine weiteren Maßnahmen erforderlich. Allerdings muss zur Erfüllung der Anforderungen der Rahmenrichtlinie eine allgemeine Risikobewertung vorgenommen werden. Die Arbeitgeber sollten, wie von der Rahmenrichtlinie verlangt, auf sich ändernde Gegebenheiten achten und im Fall etwaiger Änderungen die Notwendigkeit einer speziellen EMF-Bewertung prüfen.

Ebenso sollte es bei Arbeitsplätzen, zu denen Arbeitnehmer mit aktiven Implantaten oder andere besonders gefährdete Arbeitnehmer keinen Zugang haben, nicht notwendig sein, eine spezielle Bewertung hinsichtlich der EMF-Richtlinie vorzunehmen, sofern in allen *relevanten* Spalten ein „Nein“ steht. Es muss aber nach wie vor eine allgemeine Risikobewertung vorgenommen werden, wie in der Rahmenrichtlinie vorgeschrieben. Die Arbeitgeber sollten auch auf sich ändernde Gegebenheiten achten, vor allem ob besonders gefährdete Arbeitnehmer möglicherweise Zugang zu entsprechenden Räumlichkeiten haben.



Wichtig: EMF-Bewertungen

Für Arbeitsplätze, an denen *nur* solche Situationen vorkommen, für die in Tabelle 3.2 in *allen* relevanten Spalten ein „Nein“ steht, wird es normalerweise nicht nötig sein, eine spezielle EMF-Bewertung vorzunehmen. Eine allgemeine Risikobewertung gemäß den Anforderungen der Rahmenrichtlinie wird jedoch weiterhin verlangt, und die Arbeitgeber sollten auf sich ändernde Gegebenheiten achten.

Tabelle 3.2 Anforderungen für spezielle EMF-Bewertungen in Bezug auf allgemeine Tätigkeiten, Arbeitsmittel und Arbeitsplätze

Art des Arbeitsmittels oder Arbeitsplatzes	Bewertung erforderlich für		
	Arbeitnehmer ohne besonderes Risiko*	Besonders gefährdete Arbeitnehmer (ausgenommen solche mit aktiven Implantaten)**	Arbeitnehmer mit aktiven Implantaten***
	(1)	(2)	(3)
Drahtlose Kommunikation			
Telefone, schnurlos (einschließlich Basisstationen für DECT-Schnurlostelefone) – Gebrauch selbiger	Nein	Nein	Ja
Telefone, schnurlos (einschließlich Basisstationen für DECT-Schnurlostelefone) – Arbeitsplätze mit solchen	Nein	Nein	Nein
Telefone, Mobiltelefone – Gebrauch selbiger	Nein	Nein	Ja
Telefone, Mobiltelefone – Arbeitsplätze mit solchen	Nein	Nein	Nein
Drahtlose Kommunikationsgeräte (z. B. WLAN oder Bluetooth) einschließlich Zugangspunkten für WLAN – Gebrauch selbiger	Nein	Nein	Ja
Drahtlose Kommunikationsgeräte (z. B. WLAN oder Bluetooth) einschließlich Zugangspunkten für WLAN – Arbeitsplätze mit solchen	Nein	Nein	Nein
Büroräume			
Audiovisuelle Geräte (z. B. Fernsehgeräte, DVD-Spieler)	Nein	Nein	Nein
Audiovisuelle Geräte mit Hochfrequenzsendern	Nein	Nein	Ja
Drahtgebundene Kommunikationsgeräte und Netzwerke	Nein	Nein	Nein
Computer und IT-Ausrüstung	Nein	Nein	Nein
Heizlüfter, elektrisch	Nein	Nein	Nein
Ventilatoren, elektrisch	Nein	Nein	Nein
Büroausstattung (z. B. Kopiergeräte, Aktenvernichter, elektrisch betriebene Heftapparate)	Nein	Nein	Nein
Telefone (Festnetz) und Faxgeräte	Nein	Nein	Nein
Infrastruktur (Gebäude und Grundstücke)			
Alarmsysteme	Nein	Nein	Nein
Basisstationsantennen, innerhalb der gekennzeichneten Sperrzone des Betreibers	Ja	Ja	Ja
Basisstationsantennen, außerhalb der gekennzeichneten Sperrzone des Betreibers	Nein	Nein	Nein
Gartengeräte (elektrisch betrieben) – Gebrauch selbiger	Nein	Nein	Ja
Gartengeräte (elektrisch betrieben) – Arbeitsplätze mit solchen	Nein	Nein	Nein
Heizgeräte (elektrisch) zum Beheizen von Räumen	Nein	Nein	Nein
Haushaltsgeräte und Geräte zum professionellen Gebrauch, z. B. Kühlschrank, Waschmaschine, Trockner, Geschirrspülmaschine, Backofen, Toaster, Mikrowelle, Bügeleisen, sofern sie keine Übertragungseinrichtung enthalten wie WLAN, Bluetooth oder Mobiltelefone	Nein	Nein	Nein
Beleuchtung, z. B. Flächenbeleuchtung und Schreibtischlampen	Nein	Nein	Nein
Beleuchtung, mit Hochfrequenz- oder Mikrowellenenergie	Ja	Ja	Ja
Öffentlich zugängliche Arbeitsplätze, die die Referenzwerte aus der Empfehlung 1999/519/EG des Rates einhalten	Nein	Nein	Nein

Sicherheit			
Warensicherungssysteme und RFID (Funkwellenidentifikation)	Nein	Nein	Ja
Löschgeräte, Bänder oder Festplatten	Nein	Nein	Ja
Metalldetektoren	Nein	Nein	Ja
Stromversorgung			
Stromkreis mit nah beieinanderliegenden Leitern und einem Nettostrom von 100 A oder weniger – einschließlich Verkabelung, Schalttechnik, Transformatoren usw. – Exposition gegenüber Magnetfeldern	Nein	Nein	Nein
Stromkreis mit nah beieinanderliegenden Leitern und einem Nettostrom von mehr als 100 A – einschließlich Verkabelung, Schalttechnik, Transformatoren usw. – Exposition gegenüber Magnetfeldern	Ja	Ja	Ja
Stromkreise in einer Anlage mit einem Phasen-Nennstrom von 100 A oder weniger je Stromkreis – einschließlich Verkabelung, Schalttechnik, Transformatoren usw. – Exposition gegenüber Magnetfeldern	Nein	Nein	Nein
Stromkreise in einer Anlage mit einem Phasen-Nennstrom von mehr als 100 A je Stromkreis – einschließlich Verkabelung, Schalttechnik, Transformatoren usw. – Exposition gegenüber Magnetfeldern	Ja	Ja	Ja
Elektrische Anlagen mit einem Phasen-Nennstrom von mehr als 100 A – einschließlich Verkabelung, Schalttechnik, Transformatoren usw. – Exposition gegenüber Magnetfeldern	Ja	Ja	Ja
Elektrische Anlagen mit einem Phasen-Nennstrom von 100 A oder weniger – einschließlich Verkabelung, Schalttechnik, Transformatoren usw. – Exposition gegenüber Magnetfeldern	Nein	Nein	Nein
Generatoren und Notstromaggregate – Arbeit an solchen	Nein	Nein	Ja
Wechselrichter, einschließlich solcher in Fotovoltaikanlagen	Nein	Nein	Ja
Blanke Freileitung mit einer Nennspannung bis zu 100 kV oder Freileitung bis zu 150 kV über dem Arbeitsplatz – Exposition gegenüber elektrischen Feldern	Nein	Nein	Nein
Blanke Freileitung mit einer Nennspannung von mehr als 100 kV oder Freileitung mit mehr als 150 kV ⁽¹⁾ über dem Arbeitsplatz – Exposition gegenüber elektrischen Feldern	Ja	Ja	Ja
Blanke Freileitungen, spannungsunabhängig – Exposition gegenüber Magnetfeldern	Nein	Nein	Nein
Erdkabel- oder isolierte Leitung, nennspannungsunabhängig – Exposition gegenüber elektrischen Feldern	Nein	Nein	Nein
Windturbinen, Arbeit an solchen	Nein	Ja	Ja
Leichtindustrie			
Lichtbogenschweißung, manuell (einschließlich MIG (Metall-Inertgas), MAG (Metall-Aktivgas), WIG (Wolfram-Inertgas)) bei Einhaltung bewährter Verfahren und ohne Körperkontakt zur Leitung	Nein	Nein	Ja
Ladegeräte, industriell	Nein	Nein	Ja
Ladegeräte, groß, professionell	Nein	Nein	Ja
Beschichtungs- und Lackiergeräte	Nein	Nein	Nein
Steuergeräte ohne Funksender	Nein	Nein	Nein
Geräte zur Oberflächenbehandlung mit Corona-Technik	Nein	Nein	Ja

⁽¹⁾ Bei Freileitungen mit mehr als 150 kV liegt die elektrische Feldstärke meistens, aber nicht unbedingt, unter dem Referenzwert aus der Empfehlung 1999/519/EG des Rates.

Dielektrische Erwärmung	Ja	Ja	Ja
Dielektrisches Schweißen	Ja	Ja	Ja
Elektrostatische Lackiergeräte	Nein	Ja	Ja
Öfen, resistiv beheizt	Nein	Nein	Ja
Klebe pistolen (tragbar) – Arbeitsplätze mit solchen	Nein	Nein	Nein
Klebe pistolen – Gebrauch selbiger	Nein	Nein	Ja
Heißluft pistolen (tragbar) – Arbeitsplätze mit solchen	Nein	Nein	Nein
Heißluft pistolen – Gebrauch selbiger	Nein	Nein	Ja
Hydraulik rampen	Nein	Nein	Nein
Induktionsheizten	Ja	Ja	Ja
Induktionsheizungen, automatisiert, Feststellung und Behebung von Fehlern in unmittelbarer Nähe der EMF-Quelle	Nein	Ja	Ja
Geräte zur Induktionsversiegelung	Nein	Nein	Ja
Induktionslöten	Ja	Ja	Ja
Werkzeugmaschinen (z. B. Bohrmaschinen, Schleifmaschinen, Drehmaschinen, Fräsmaschinen, Sägen – Standgeräte)	Nein	Nein	Ja
Magnetpulverprüfung (Rissprüfung)	Ja	Ja	Ja
Magnetisier- und Entmagnetisiergeräte, industriell (einschließlich Bandlöschgeräten)	Ja	Ja	Ja
Messgeräte und -instrumente ohne Funksender	Nein	Nein	Nein
Mikrowellenerwärmung und -trocknung in der Holzverarbeitenden Industrie (Trocknen, Formen und Leimen von Holz)	Ja	Ja	Ja
Hochfrequenzplasmageräte, einschließlich Vakuumaufdampfung und beschichtung	Ja	Ja	Ja
Werkzeuge (elektrische, tragbare Handgeräte, z. B. Bohrer, Schleifgeräte, Kreissägen und Winkelschleifer) – Gebrauch selbiger	Nein	Nein	Ja
Werkzeuge (elektrische, tragbare Handgeräte) – Arbeitsplätze mit solchen	Nein	Nein	Nein
Schweißanlagen, automatisiert, Feststellung und Behebung von Fehlern sowie Unterweisung in unmittelbarer Nähe der EMF-Quelle	Nein	Ja	Ja
Schweißen, Widerstandsschweißen von Hand (Punktschweißen, Nahtschweißen)	Ja	Ja	Ja
Schwerindustrie			
Elektrolyse, industriell	Ja	Ja	Ja
Öfen, Lichtbogenschmelzen	Ja	Ja	Ja
Öfen, Induktionsschmelzen (kleinere Öfen haben normalerweise stärkere zugängliche Felder als größere Öfen)	Ja	Ja	Ja
Bau			
Baumaschinen (z. B. Betonmischer, Vibrationsverdichter, Krane usw.) – Arbeiten in unmittelbarer Nähe	Nein	Nein	Ja
Mikrowellentrocknen, in der Bauindustrie	Ja	Ja	Ja
Medizin			
Medizinische Diagnose- und Behandlungsgeräte ohne EMF-Nutzung	Nein	Nein	Nein
Medizinische Diagnose- und Behandlungsgeräte mit EMF-Nutzung (z. B. Kurzwellendiathermie, transkranielle Magnetstimulation)	Ja	Ja	Ja
Verkehr			

Kraftfahrzeuge und technische Einrichtungen – Arbeiten in unmittelbarer Nähe von Anlasser, Lichtmaschine, Zündung	Nein	Nein	Ja
Radar, Flugsicherungs-, Militär-, Wetter- und Langstreckenradar	Ja	Ja	Ja
Züge und Straßenbahnen, elektrisch angetrieben	Ja	Ja	Ja
Verschiedenes			
Ladegeräte mit induktiver oder Nahfeldkopplung	Nein	Nein	Ja
Ladegeräte mit nichtinduktiver Kopplung für den Haushaltsgebrauch	Nein	Nein	Nein
Übertragungssysteme und -geräte (Rundfunk und Fernsehen: LF, MF, HF, VHF, UHF)	Ja	Ja	Ja
Geräte, die statische Magnetfelder von mehr als 0,5 Millitesla erzeugen, entweder elektrisch oder mittels Dauermagneten (z. B. Magnetspannplatten, -tische und -förderbänder, Hubmagnete, Magnethalter, Magnetnamensschilder und -ausweise)	Nein	Nein	Ja
Geräte, die als mit der Empfehlung 1999/519/EG des Rates oder harmonisierten EMF-Normen konform auf dem europäischen Markt in Verkehr gebracht wurden	Nein	Nein	Nein
Kopfhörer, die starke Magnetfelder erzeugen	Nein	Nein	Ja
Induktionskochgeräte, professionell	Nein	Nein	Ja
Nichtelektrische Geräte aller Art, ausgenommen solche mit Dauermagneten	Nein	Nein	Nein
Tragbare Geräte (batteriebetrieben) ohne Hochfrequenzsender	Nein	Nein	Nein
Zweiwegefunkgeräte (z. B. Walkie-Talkies, Bordfunkgeräte)	Nein	Nein	Ja
Sender, batteriebetrieben	Nein	Nein	Ja

Anmerkung: * Bewertung in Bezug auf geltende Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerte erforderlich (siehe Kapitel 6).

** Bewertung in Bezug auf die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates angegebenen Referenzwerte erforderlich (siehe Abschnitt 5.4.1.3 und Anhang E).

*** Die örtlich begrenzte Exposition einer Person kann die Referenzwerte aus der Empfehlung des Rates überschreiten – dies muss bei der Risikobewertung berücksichtigt werden; Auskünfte des medizinischen Personals, das das Implantat eingesetzt hat und/oder die Nachsorge übernimmt, sollten ebenfalls in die Bewertung einfließen (siehe Abschnitt 5.4.1.3 und Anhang E).

3.2.1 Tätigkeiten, Arbeitsmittel und Arbeitsplätze, die voraussichtlich eine spezielle Bewertung erfordern

Arbeitsplätze, an denen Geräte vorhanden sind, die mit hohen Strömen oder hohen Spannungen betrieben werden, oder die sich in der Nähe solcher Geräte befinden, können Bereiche mit starken elektromagnetischen Feldern aufweisen. Dieser Effekt kann gleichermaßen bei Geräten auftreten, die zur gezielten Hochleistungsübertragung elektromagnetischer Strahlung konzipiert sind. Felder dieser Stärke können die in der EMF-Richtlinie angegebenen Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerte überschreiten oder inakzeptable Risiken durch indirekte Auswirkungen verursachen.

In Spalte 1 von Tabelle 3.2 sind Situationen aufgeführt, bei denen unter Umständen starke Felder auftreten, die normalerweise einer speziellen EMF-Bewertung bedürfen. Für diese Tabelle wurden vorhandene Messdaten für die genannten beispielhaften Situationen herangezogen, aus denen hervorgeht, dass die betreffenden Felder so stark sein können, dass sie sich den entsprechenden Auslöseschwellen nähern und diese in einigen Fällen überschreiten. Allerdings bedeutet ein „Ja“ für die Situation in Spalte 1 nicht, dass das zugängliche Feld einen Expositionsgrenzwert definitiv überschreitet. Es bedeutet vielmehr, dass angesichts der am Arbeitsplatz höchstwahrscheinlich auftretenden Schwankungsbreite nicht davon ausgegangen werden kann, dass der Expositionsgrenzwert stets eingehalten wird. Aus diesem Grund ist es empfehlenswert, eine spezielle Bewertung für jeden Arbeitsplatz vorzunehmen.

Es ist zu beachten, dass Tabelle 3.2 Beispiele für Situationen enthält, die allgemein an Arbeitsplätzen vorkommen können. Diese Liste kann keinesfalls als erschöpfend betrachtet werden; es können andere spezielle Arbeitsmittel oder außergewöhnliche Prozesse existieren, die in dieser Liste nicht enthalten sind. Die Liste soll Arbeitgebern als Hilfestellung dienen, um die Arten von Situationen zu erkennen, für die in der Regel eine eingehendere Bewertung erforderlich ist.

3.3 Nicht in diesem Kapitel aufgeführte Tätigkeiten, Arbeitsmittel und Arbeitsplätze

Wenn Arbeitgeber Situationen an den Arbeitsplätzen in ihrem Unternehmen ermitteln, die offensichtlich nicht von den Einträgen in Tabelle 3.2 abgedeckt sind, sollten sie zunächst den verfügbaren Handbüchern und sonstigen Dokumentationen möglichst viele Informationen entnehmen. Im nächsten Schritt sollten sie herausfinden, ob Informationen aus externen Quellen wie Gerätehersteller und Handelsverbände verfügbar sind (siehe Kapitel 7 des vorliegenden Leitfadens).

Falls von anderen Stellen keine Informationen zu den elektromagnetischen Feldern erhalten werden können, muss gegebenenfalls eine Bewertung mittels Messungen oder Berechnungen vorgenommen werden (siehe Kapitel 8).

Abschnitt 2

**ENTSCHEIDEN,
OB WEITERE
MASSNAHMEN ZU
ERGREIFEN SIND**

4 AUFBAU DER EMF-RICHTLINIE

Der vollständige Text der EMF-Richtlinie (2013/35/EU) ist in Anhang L dieses Leitfadens enthalten. Im vorliegenden Kapitel 4 wird erläutert, wie und warum die EMF-Richtlinie eingeführt wurde. Außerdem wird ein Überblick über die wichtigsten Anforderungen dieser Richtlinie gegeben.

Der Vertrag von Rom (nun der Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union) enthält das Ziel, Verbesserungen der Arbeitsumwelt zum Schutz der Gesundheit und der Sicherheit der Arbeitnehmer zu fördern. Um dieses Ziel zu unterstützen, erlaubt der Vertrag den Erlass von Richtlinien zur Festlegung von Mindestvorschriften. 1989 wurde die Rahmenrichtlinie (89/391/EWG) als übergeordnete Richtlinie in diesem Bereich eingeführt. Die Rahmenrichtlinie enthält allgemeine Vorgaben für die Bewertung und Verringerung von Gefahren, die Notfallvorsorge, die Unterrichtung, Unterweisung und Beteiligung der Arbeitnehmer, die Pflichten der Arbeitnehmer und die Gesundheitsüberwachung. Außerdem sieht die Rahmenrichtlinie den Erlass von Einzelrichtlinien vor, die im Wesentlichen weitere Einzelheiten darüber enthalten, wie die Ziele der Rahmenrichtlinie in spezifischen Situationen erfüllt werden können. Die EMF-Richtlinie ist die 20. solcher Einzelrichtlinien. Abbildung 4.1 zeigt, wie sich die EMF-Richtlinie in das breitere rechtliche Rahmenwerk einfügt.

Abbildung 4.1 Schematische Darstellung des Rechtsrahmens für die EMF-Richtlinie

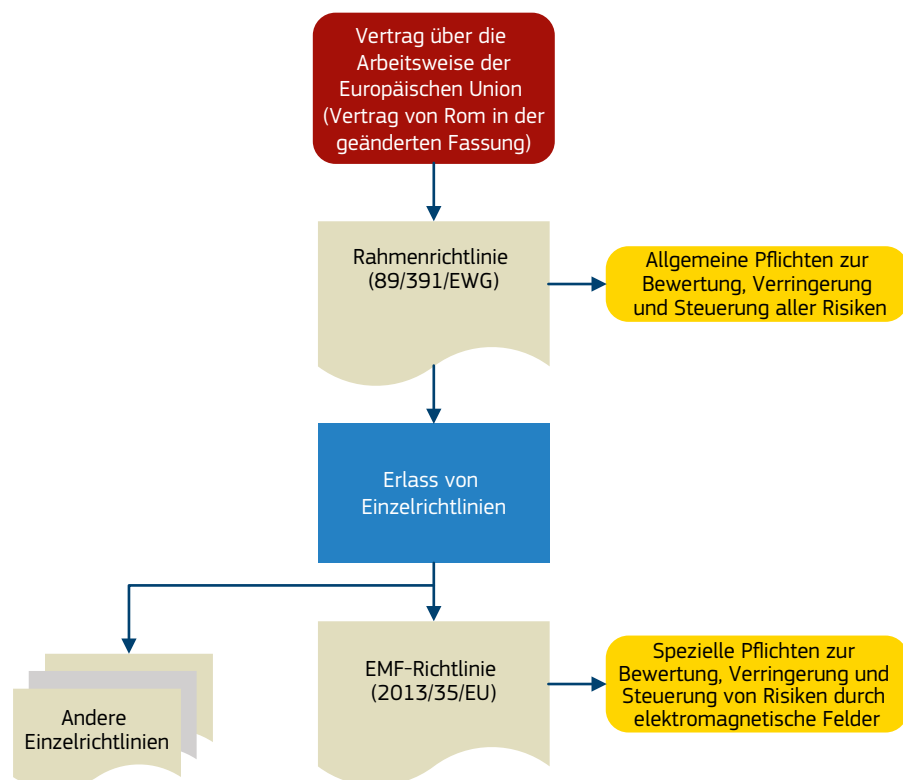
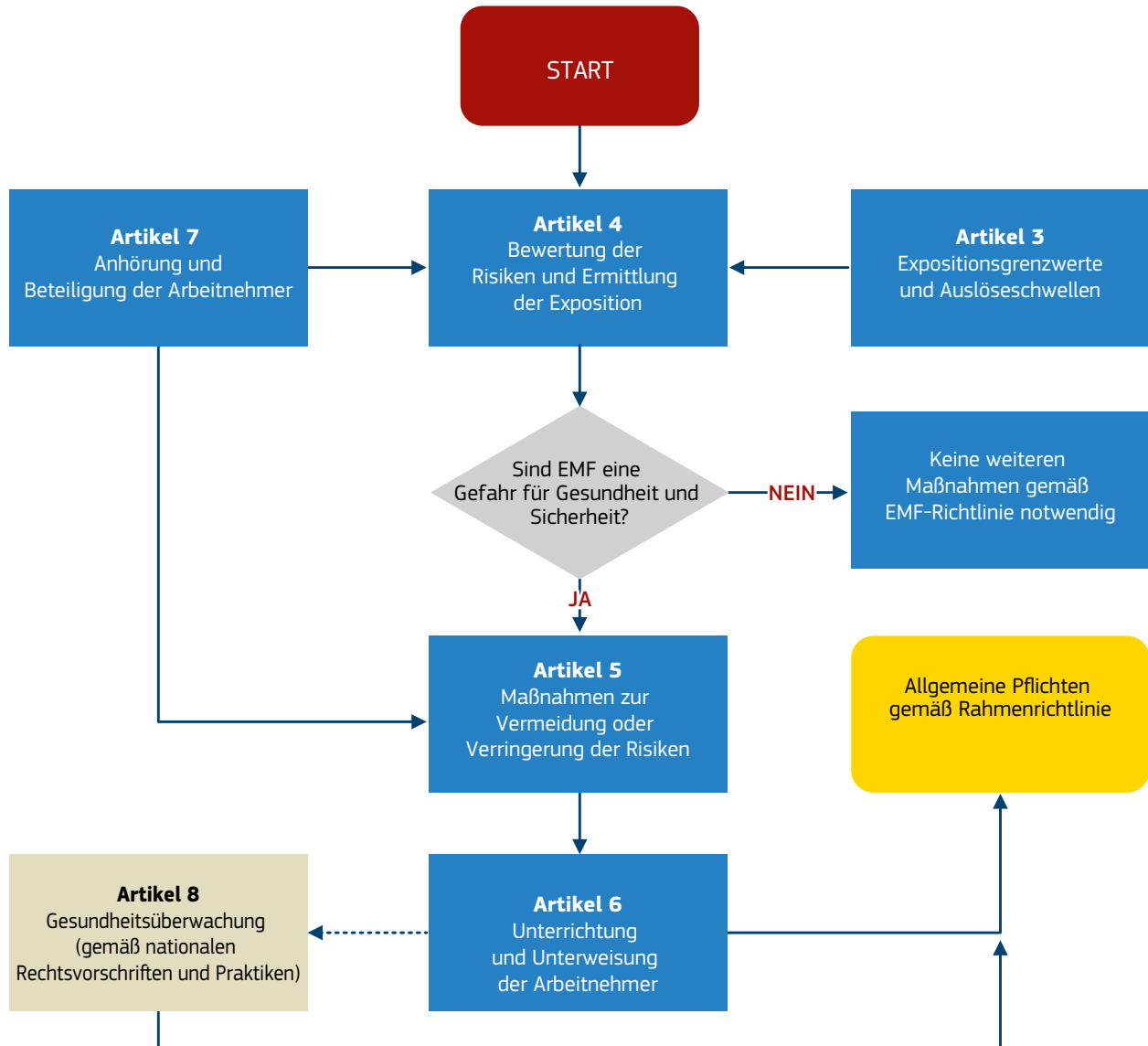


Abbildung 4.2 zeigt eine Übersicht über die wichtigsten für Arbeitgeber maßgeblichen Artikel der EMF-Richtlinie und das Zusammenspiel dieser Artikel.

Abbildung 4.2 Schematische Darstellung des Zusammenspiels der Artikel der EMF-Richtlinie



Wie oben bereits dargelegt, soll die EMF-Richtlinie Arbeitgeber dabei unterstützen, ihren Pflichten aus der Rahmenrichtlinie im Hinblick auf spezifische Arbeitssituationen nachzukommen, die eine Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern beinhalten. Demzufolge spiegeln viele der Anforderungen der EMF-Richtlinie die Anforderungen in der allgemeineren Rahmenrichtlinie wider, und die beiden Richtlinien sollten gemeinsam verwendet werden. Im Mittelpunkt der EMF-Richtlinie steht die Bewertung der Risiken infolge elektromagnetischer Felder am Arbeitsplatz, wobei erforderlichenfalls anschließende Maßnahmen zur Verringerung dieser Risiken zu ergreifen sind. Ein Vorteil der Verbindung zwischen den beiden Richtlinien liegt darin, dass die meisten Arbeitgeber, die ihren Pflichten aus der Rahmenrichtlinie bereits nachkommen, feststellen werden, dass sie nur in geringem Maß weiter tätig werden müssen, um den Anforderungen der EMF-Richtlinie zu entsprechen.

Die EMF-Richtlinie enthält *Mindestvorschriften* zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer bei der Arbeit mit elektromagnetischen Feldern. Im Einklang mit dem

Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union können die Mitgliedstaaten die bestehenden Rechtsvorschriften beibehalten oder neue Rechtsvorschriften einführen, die strengere Anforderungen als die EMF-Richtlinie vorsehen.

4.1 Artikel 3 – Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen

Artikel 3 gibt Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen und für sensorische Wirkungen an, um die maximale Exposition von Arbeitnehmern zu begrenzen. Diese Werte sind in der EMF-Richtlinie in Anhang II (für nichtthermische Wirkungen) und Anhang III (für thermische Wirkungen) aufgeführt. Die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen müssen in jedem Fall eingehalten werden. Jedoch können die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen zeitweilig überschritten werden, vorausgesetzt, die Arbeitnehmer werden entsprechend unterrichtet und es werden weitere Maßnahmen, wie in Artikel 3 dargelegt, ergriffen.



Wichtig: Begriffsbestimmungen

Viele der in der EMF-Richtlinie verwendeten Begriffe sind in Artikel 2 definiert. Einige Begriffe wie „zeitweilig“ bzw. „vorübergehender Natur“ und „gerechtfertigt“ sind jedoch nicht definiert und können je nach Kontext unterschiedlich verwendet werden. Begriffe, die in der EMF-Richtlinie nicht explizit definiert sind, werden von den Mitgliedstaaten bei der Umsetzung der Richtlinie entweder in den Rechtsvorschriften oder auf andere Weise definiert.

In den meisten Fällen werden die Expositionsgrenzwerte als Größen im Inneren des Körpers angegeben, die weder direkt gemessen noch auf einfache Weise berechnet werden können. Deshalb werden in Artikel 3 Auslöseschwellen eingeführt, die in Bezug auf externe Feldgrößen festgelegt werden, welche sich messtechnisch oder durch Berechnungen einfacher ermitteln lassen. Die Auslöseschwellen werden in der EMF-Richtlinie in Anhang II und Anhang III aufgeführt. Werden die Auslöseschwellen eingehalten, ist davon auszugehen, dass die Expositionen unter den Expositionsgrenzwerten liegen, und es ist keine weitere Bewertung nötig. Unter bestimmten Umständen ist die Überschreitung mancher Auslöseschwellen zulässig; die Voraussetzungen dafür sind in Artikel 3 dargelegt.

Die praktische Anwendung der Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerte ist kompliziert und wird in Kapitel 6 des vorliegenden Leitfadens eingehender behandelt.

4.2 Artikel 4 – Bewertung der Risiken und Ermittlung der Exposition

Der erste Schritt zur Verbesserung der Sicherheit von Arbeitsplätzen besteht darin, die vorhandenen Risiken zu bewerten. Kapitel 5 dieses Leitfadens enthält weitere Informationen über die Bewertung der von elektromagnetischen Feldern am Arbeitsplatz ausgehenden Risiken. Dies umfasst die Erörterung der Gegebenheiten, die zur Einhaltung von Artikel 4 berücksichtigt werden müssen. Es ist zu beachten, dass es nicht genügt, lediglich die Einhaltung der Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerte nachzuweisen. Diese Vorgehensweise ist möglicherweise nicht ausreichend, um besonders gefährdete Arbeitnehmer angemessen zu schützen oder durch indirekte Auswirkungen verursachte Sicherheitsrisiken auszuschließen.

Bei der Bewertung der Risiken infolge elektromagnetischer Felder am Arbeitsplatz ist es notwendig, die Art der vorhandenen Felder zu verstehen. Arbeitgeber müssen somit nach Artikel 4 elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz auch ermitteln und bewerten. Dazu können sie aber Informationen aus anderen Quellen heranziehen. Sie müssen nur dann

eine eigene EMF-Bewertung vornehmen, wenn die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte anders nicht nachgewiesen werden kann.

Dass von Geräteherstellern zur Verfügung gestellte oder in Datenbanken infolge allgemeiner Bewertungen veröffentlichte Daten genutzt werden dürfen, ist ein wichtiger Aspekt, da dies für die meisten Arbeitgeber die bei Weitem einfachste Methode zur Bewertung der elektromagnetischen Felder am Arbeitsplatz ist. Die Nutzung von Informationen aus externen Quellen wird in Kapitel 7 dieses Leitfadens eingehender beschrieben und in einigen Fallstudien in Band 2 veranschaulicht.

Wenn Arbeitgeber eine Bewertung der elektromagnetischen Felder selbst vornehmen müssen, haben sie nach Artikel 4 die Wahl, ob sie diese Bewertungen mittels Messungen oder Berechnungen durchführen möchten. Diese Flexibilität ermöglicht den Arbeitgebern, die einfachste Methode für ihre spezielle Situation zu wählen. Da bei der Wahl der jeweiligen Methode viele Faktoren eine Rolle spielen, wird auf diese in Kapitel 8 dieses Leitfadens näher eingegangen. Darüber hinaus enthält Anhang D weitere Hilfestellung zu diesem Thema.

4.3 Artikel 5 – Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Risiken

Falls die Auslöseschwellen nicht überschritten werden und andere Wirkungen ausgeschlossen werden können, müssen Arbeitgeber keine weiteren Maßnahmen ergreifen. Sie müssen lediglich sicherstellen, dass sie ihren Pflichten gemäß der Rahmenrichtlinie weiterhin nachkommen. Dazu zählt eine regelmäßige Überprüfung der Risikobewertung, damit gewährleistet ist, dass diese nach wie vor relevant ist.

Falls Auslöseschwellen überschritten werden, möchte der Arbeitgeber vielleicht nachweisen, dass die Expositionsgrenzwerte eingehalten werden und keine anderen Sicherheitsrisiken infolge elektromagnetischer Felder vorliegen, sofern dies möglich ist. Allerdings ist es in vielen Fällen einfacher und kostengünstiger, Maßnahmen zur Vermeidung der Risiken zu treffen, als die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte nachzuweisen. Wie bei anderen Aspekten der EMF-Richtlinie sollte bei allgemeinen Lösungen zur Vermeidung und Verringerung der Risiken den Vorgaben der Rahmenrichtlinie gefolgt werden. Den meisten Arbeitgebern stehen mehrere Möglichkeiten zur Auswahl, und welche Lösung sich am besten eignet, hängt jeweils von der speziellen Situation ab. In Kapitel 9 des vorliegenden Leitfadens wird auf allgemeine Vorgehensweisen eingegangen; hierzu zählen auch Maßnahmen, die sich speziell auf Risiken infolge elektromagnetischer Felder beziehen.

Wie in Abschnitt 4.1 oben bereits erwähnt, ist es nach Artikel 3 zulässig, niedrige Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen unter bestimmten Bedingungen zeitweilig zu überschreiten. Artikel 5 gibt die entsprechenden Vorkehrungen an, die in diesen Situationen zu treffen sind.

Selbst wenn Auslöseschwellen nicht überschritten werden, muss der Arbeitgeber bedenken, dass dadurch möglicherweise noch kein angemessener Schutz von besonders gefährdeten Arbeitnehmern besteht oder durch indirekte Auswirkungen verursachte Sicherheitsrisiken ausgeschlossen sind. Auch in dieser Situation hat der Arbeitgeber häufig verschiedene Möglichkeiten, um die betreffenden Risiken einzudämmen; die verfügbaren Optionen werden ebenfalls in Kapitel 9 ausführlicher behandelt.

4.4 Artikel 6 – Unterrichtung und Unterweisung der Arbeitnehmer

Wie bei anderen Aspekten der EMF-Richtlinie entsprechen die Anforderungen in Artikel 6 in großen Teilen den entsprechenden Artikeln der Rahmenrichtlinie. Wurden Risiken ermittelt, ist eine entsprechende Unterrichtung und Unterweisung notwendig.

Jedoch sind viele Arbeitnehmer unter Umständen nicht mit der Art der Gefährdung durch elektromagnetische Felder, den möglichen Symptomen oder den Konzepten wie Expositionsgrenzwerten und Auslöseschwellen vertraut. Deshalb sollte auf diese Punkte in jeder Unterweisung ausdrücklich eingegangen werden. Außerdem sind die Arbeitnehmer über die jeweiligen Ergebnisse der Risikobewertungen für ihren speziellen Arbeitsplatz zu informieren.

Gleichermaßen ist es wichtig, dass die Risiken in die richtige Perspektive gerückt werden. Den Arbeitnehmern sollte bewusst sein, dass viele der Quellen elektromagnetischer Felder am Arbeitsplatz ihre Gesundheit oder Sicherheit nicht beeinträchtigen. Im Gegenteil können viele der Arbeitsmittel, beispielsweise Mobiltelefone oder Hebezeuge, zum Wohlergehen der Arbeitnehmer beitragen und ihnen die Arbeit wesentlich erleichtern. Weitere Informationen über die Unterrichtung und Unterweisung der Arbeitnehmer finden Sie in Kapitel 9 dieses Leitfadens.

4.5 Artikel 7 – Anhörung und Beteiligung der Arbeitnehmer

Artikel 7 der EMF-Richtlinie bezieht sich direkt auf Artikel 11 der Rahmenrichtlinie.

4.6 Artikel 8 – Gesundheitsüberwachung

Artikel 8 der EMF-Richtlinie stützt sich auf die Anforderungen in Artikel 14 der Rahmenrichtlinie. Den Mitgliedstaaten ist es ausdrücklich erlaubt, diese Anforderungen an ihre bereits bestehenden Systeme anzupassen. Somit dürfte die praktische Umsetzung dieses Artikels von Land zu Land unterschiedlich sein. Kapitel 11 dieses Leitfadens enthält Hinweise zur Gesundheitsüberwachung.

4.7 Artikel 10 – Ausnahmen

Artikel 10 sieht eine Ausnahme ohne Ermessensspielraum und zwei Ausnahmen mit Ermessensspielraum vor. Eine Ausnahme ist eine Lockerung einer Rechtsvorschrift. In diesem konkreten Fall bedeutet eine Ausnahme, dass Arbeitgeber unter bestimmten Umständen einigen Anforderungen der EMF-Richtlinie nicht nachkommen müssen, sofern die Arbeitnehmer weiterhin angemessen geschützt sind.

Die Ausnahme ohne Ermessensspielraum bezieht sich auf die Aufstellung, Prüfung, Anwendung, Entwicklung und Wartung von Geräten für bildgebende Verfahren mittels Magnetresonanz im Gesundheitswesen oder damit verknüpften Forschungsarbeiten. Die Ausnahme besagt, dass die Expositionsgrenzwerte überschritten werden dürfen, sofern bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind. Die betreffenden Voraussetzungen werden in Anhang F dieses Leitfadens beschrieben, zusammen mit Hinweisen, wie die Arbeitgeber nachweisen können, dass diese Voraussetzungen erfüllt sind.

Bei der ersten Ausnahme mit Ermessensspielraum können die Mitgliedstaaten gestatten, dass ein alternatives Schutzsystem für Personal angewandt wird, das in militärischen Einrichtungen beschäftigt oder an militärischen Aktivitäten beteiligt ist oder an gemeinsamen internationalen militärischen Übungen teilnimmt. Voraussetzung für diese Ausnahme ist, dass gesundheitsschädliche Wirkungen und Sicherheitsrisiken vermieden werden.

Bei der zweiten Ausnahme mit Ermessensspielraum handelt es sich um eine allgemeine Ausnahme. In diesem Fall können Mitgliedstaaten unter bestimmten Umständen gestatten, dass die Expositionsgrenzwerte in bestimmten Sektoren oder für bestimmte Tätigkeiten zeitweilig überschritten werden.

Ausnahmen werden in Abschnitt 6.4 dieses Leitfadens eingehender behandelt.

4.8 Zusammenfassung

Die EMF-Richtlinie soll Arbeitgeber dabei unterstützen, die Anforderungen der Rahmenrichtlinie im Hinblick auf die spezifischen Risiken im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern zu erfüllen. Die meisten Arbeitgeber dürften ihren Pflichten gemäß der Rahmenrichtlinie bereits nachkommen und erfüllen demnach ihre Pflichten gemäß der EMF-Richtlinie in der Regel ebenfalls. An manchen Arbeitsplätzen treten aber stärkere elektromagnetische Felder auf. In diesem Fall müssen die Arbeitgeber unter Umständen eingehendere Bewertungen durchführen und zusätzliche Vorkehrungen treffen, um die Risiken zu vermeiden oder zu verringern. Darüber hinaus müssen die Arbeitgeber ihre Mitarbeiter unterrichten und unterweisen, sie in das Risikomanagement einbeziehen und eine Gesundheitsüberwachung im Einklang mit nationalen Praktiken durchführen.

Bildgebende Verfahren mittels Magnetresonanz im Gesundheitswesen unterliegen einer Ausnahme ohne Ermessensspielraum. Im Rahmen weiterer Ausnahmen können Mitgliedstaaten gestatten, dass ein alternatives Schutzsystem im Zusammenhang mit militärischen Aktivitäten angewandt werden kann und dass die Expositionsgrenzwerte in bestimmten Sektoren unter gewissen Voraussetzungen zeitweilig überschritten werden können.

5 RISIKOBEWERTUNG IM ZUSAMMENHANG MIT DER EMF-RICHTLINIE

Die Risikobewertung ist eine grundlegende Anforderung der Rahmenrichtlinie, die in Artikel 4 der EMF-Richtlinie widergespiegelt wird. Infolgedessen müssen bei der Bewertung der durch elektromagnetische Felder hervorgerufenen Risiken zahlreiche spezifische Gegebenheiten berücksichtigt werden. Dieses Kapitel enthält Hinweise zur Vorgehensweise bei der Bewertung der Risiken infolge elektromagnetischer Felder. Die Empfehlungen können von den Arbeitgebern jeweils an ihre bestehenden Risikobewertungssysteme angepasst werden.

Generell gibt es keine festen Regeln, wie eine Risikobewertung durchzuführen ist. Allerdings wird empfohlen, bei den nationalen Behörden nachzufragen, ob bestimmte nationale Vorgaben bestehen. Eine strukturierte Vorgehensweise bei der Risikobewertung ist in der Regel am effektivsten, da auf diese Weise Gefahren und besonders gefährdete Arbeitnehmer systematisch ermittelt werden können. Dadurch lässt sich sicherstellen, dass Risiken nicht versehentlich außer Acht gelassen werden. Die Komplexität der Bewertung hängt von der Art der zu bewertenden Tätigkeiten ab. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass es in den meisten Situationen die beste Lösung ist, die Bewertung möglichst einfach zu halten.

So wie es keine festen Regeln für Risikobewertungen gibt, so kann auch die Terminologie unterschiedlich sein. In diesem Kapitel werden die von der Europäischen Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz empfohlenen Begriffe und Begriffsbestimmungen verwendet (Tabelle 5.1).

Tabelle 5.1 In diesem Leitfaden im Zusammenhang mit der Risikobewertung verwendete Begriffe und Begriffsbestimmungen

Gefahr	Die einer Sache innewohnende Eigenschaft oder Fähigkeit, potenziell Schaden zu verursachen
Risiko	Die Wahrscheinlichkeit, dass der Schaden unter den Verwendungsbedingungen und/oder bei Exposition eintritt, sowie der mögliche Schweregrad des Schadens
Risikobewertung	Prozess der Beurteilung der Risiken für die Sicherheit und Gesundheit von Arbeitnehmern bei der Arbeit, die auf Umstände einer möglichen Gefahr am Arbeitsplatz zurückzuführen sind

Bei einer vollständigen Risikobewertung müssen alle Gefahren in Verbindung mit einer Arbeitstätigkeit berücksichtigt werden. Für die Zwecke dieses Leitfadens werden jedoch nur die Gefahren im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern betrachtet. In den Fallstudien in Band 2 dieses Leitfadens werden einige Beispiele für eine auf elektromagnetische Felder bezogene Risikobewertung gegeben. Bei einigen Anwendungen kann anhand der Angaben des Produktherstellers die Schlussfolgerung getroffen werden, dass ein Risiko angemessen beherrscht wird. Deshalb muss das Risikobewertungsverfahren kein besonders schwieriges Unterfangen sein. Die Bewertung ist gemäß nationalen Rechtsvorschriften und Praktiken aufzubewahren.

Die Risikobewertung ist Aufgabe der Geschäftsleitung, sollte jedoch unter Einbeziehung der Arbeitnehmer durchgeführt werden, die auch über das Ergebnis der Bewertung informiert werden sollten.

5.1 Plattform für die interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung (OiRA)

Im Rahmen einer Initiative zur Unterstützung von Kleinst- und Kleinunternehmen hat die Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz die Plattform für die interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung (OiRA) entwickelt. Diese Plattform ist auf einer eigenen Website verfügbar (www.oiraproject.eu), die Zugang zu den OiRA-Instrumenten bietet. Diese Instrumente sind kostenfrei und sollen Arbeitgeber bei der Einrichtung eines Verfahrens zur schrittweisen Durchführung von Risikobewertungen unterstützen. Da die Instrumente sektorspezifisch sind, helfen sie den Arbeitgebern, die häufigsten Gefahren in ihrer Branche zu identifizieren.

Das OiRA-Verfahren umfasst vier Hauptschritte (siehe Tabelle 5.2 unten).

Tabelle 5.2 Schritte des OiRA-Verfahrens

Vorbereitung	Hier erhalten Sie einen Überblick über die spezielle Risikobewertung, die Sie durchführen möchten. Außerdem können Sie mit OiRA die Bewertung zusätzlich an die spezifischen Gegebenheiten Ihrer Geschäftstätigkeit anpassen.
Identifizierung	OiRA stellt eine Reihe potenzieller Gefahren oder Probleme im Hinblick auf die Gesundheit und Sicherheit in Ihrer Arbeitsstätte zur Auswahl. Indem Sie für die Aussagen oder Fragen „Ja“ oder „Nein“ angeben, können Sie bestimmen, ob die betreffenden Gefahren oder Probleme für Ihr Unternehmen relevant sind. Sie können eine Frage auch unbeantwortet lassen und sie zurückstellen, um sie in einem späteren Schritt zu beantworten.
Bewertung	In diesem Schritt können Sie das Ausmaß des Risikos in Verbindung mit jedem Punkt bestimmen, für den Sie im Schritt „Identifizierung“ festgestellt haben, dass er angegangen werden muss („needtoaddressed“).
Aktionsplan	Im vierten Schritt des Risikobewertungsverfahrens können Sie entscheiden, welche Maßnahmen zu ergreifen sind, um den zuvor ermittelten Risiken zu begegnen, und welche Ressourcen hierfür erforderlich sind. Auf der Grundlage dieser Informationen wird im nächsten Schritt automatisch ein Bericht erstellt.

Die folgenden Empfehlungen stehen mit dem OiRA-Verfahren im Einklang und dürften für die Arbeitgeber hilfreich sein, die die OiRA-Instrumente verwenden. Allerdings werden nicht alle Arbeitgeber die OiRA-Instrumente verwenden wollen. Einige Arbeitgeber haben möglicherweise bereits Risikobewertungssysteme im Einsatz, während andere Arbeitsschutzmanagementsystemen wie OHSAS 18001 folgen. Die Empfehlungen in diesem Kapitel sind dergestalt, dass sie für alle diese Situationen relevant sind.

5.2 Schritt 1 – Vorbereitung

Der erste Schritt einer jeden Risikobewertung besteht darin, Informationen über die Arbeitstätigkeiten zu sammeln, darunter:

- Beschreibung der Arbeitsaufgaben;
- Personen, die die Arbeit ausführen;
- Art und Weise, wie die Arbeit ausgeführt wird;
- zur Ausführung der Arbeitsaufgaben verwendete Arbeitsmittel.

Die Anhörung der Arbeitnehmer und die Beobachtung der Arbeitstätigkeiten sind in diesem Schritt besonders wichtig. Wie eine Arbeitstätigkeit in der Praxis ausgeführt wird, kann sich von ihrer theoretischen Ausführung unterscheiden.

Wichtig ist außerdem, sowohl routinemäßige Vorgänge als auch nicht routinemäßige oder zeitweise Vorgänge in die Bewertung einzubeziehen. Hierzu können folgende Aufgaben zählen:

- Reinigung;
- Wartung;
- Instandhaltung;
- Reparatur;
- neue Anlagen;
- Inbetriebnahme;
- Außerbetriebnahme.

5.3 Schritt 2 – Ermittlung der Gefahren und der gefährdeten Personen

5.3.1 Ermittlung der Gefahren

Der erste Schritt bei der Ermittlung der von elektromagnetischen Feldern ausgehenden Gefahren besteht darin, die Tätigkeiten und Arbeitsmittel zu identifizieren, die elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz verursachen. Es ist hilfreich, diese Liste mit Tabelle 3.2 in Kapitel 3 zu vergleichen, da in vielen Fällen aufgrund der Art einer Tätigkeit oder der Konstruktion eines Arbeitsmittels lediglich schwache Felder erzeugt werden. Solche schwachen Felder stellen keine Gefahr dar, auch wenn mehrere Tätigkeiten oder mehrere Arbeitsmittel dieser Art in unmittelbarer Nähe vorhanden sind.

Die EMF-Richtlinie erkennt an, dass einige öffentlich zugängliche Arbeitsplätze unter Umständen bereits in Bezug auf die Empfehlung des Rates zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (1999/519/EG) bewertet wurden. Falls solche Arbeitsplätze die Vorschriften der Empfehlung 1999/519/EG des Rates erfüllen und Gesundheits- und Sicherheitsrisiken ausgeschlossen werden können, muss keine weitere Expositionsbewertung durchgeführt werden. Von einer Erfüllung dieser Voraussetzungen wird ausgegangen, wenn:

- die für die öffentliche Nutzung vorgesehenen Geräte bestimmungsgemäß verwendet werden;
- die Geräte die Anforderungen der Produktrichtlinien erfüllen, die ein strengeres Sicherheitsniveau vorschreiben als die EMF-Richtlinie;
- keine anderen Geräte verwendet werden.

Tabelle 3.2 in Kapitel 3 ist außerdem hilfreich, um Tätigkeiten und Arbeitsmittel zu identifizieren, die aller Wahrscheinlichkeit nach eine eingehendere Bewertung erfordern.

Einige Quellen erzeugen stärkere Felder, die beim bestimmungsgemäßen Gebrauch nicht zugänglich sind, da das Gerät von einem Gehäuse umgeben ist oder die Arbeitsbereiche für den Zugang gesperrt sind. In diesen Fällen sollte unbedingt darauf geachtet werden, ob Arbeitnehmer während Wartungs-, Instandhaltungs- oder Reparaturarbeiten diesen starken Feldern ausgesetzt sein können.

Gerätehersteller oder Installationsbetriebe müssen berücksichtigen, dass beim Testen von im Aufbau befindlichen Geräten Arbeitnehmer möglicherweise Zugang zu Bereichen mit starken Feldern haben, die beim normalen Betrieb nicht zugänglich sind.

5.3.2 Ermittlung bestehender Präventions- und Schutzmaßnahmen

An den meisten Arbeitsplätzen dürfte bereits eine Reihe von Präventions- und Schutzmaßnahmen eingerichtet sein, um Risiken am Arbeitsplatz zu verhindern oder zu verringern. Manche dieser Maßnahmen wurden möglicherweise speziell in Bezug auf elektromagnetische Felder getroffen. In anderen Fällen wurden die Maßnahmen eventuell zur Beherrschung anderer Gefahren eingerichtet, dienen aber ebenfalls zur Begrenzung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern.

Somit ist es wichtig, bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen zu ermitteln, damit diese Informationen in das Risikobewertungsverfahren einfließen.

5.3.3 Ermittlung der gefährdeten Personen

Es muss ermittelt werden, wer durch die betrachteten Gefahren Schaden erleiden könnte. Hierbei ist es wichtig, alle Arbeitnehmer in der Arbeitsstätte zu berücksichtigen. Diejenigen Personen, die Tätigkeiten ausüben oder Geräte verwenden, die starke Felder erzeugen, sind in der Regel problemlos zu ermitteln. Dennoch müssen auch unbedingt Personen berücksichtigt werden, die andere Aufgaben ausführen oder mit anderen Geräten arbeiten, aber ebenfalls diesen elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sein können. Beispielsweise zeigt die Bewertung der vom Tisch-Punktschweißgerät in der Fallstudie zur Fertigungswerkstatt (Band 2 dieses Leitfadens) ausgehenden elektromagnetischen Felder, dass das Feld nicht am Standort des Bedieners am stärksten ist, sondern seitlich des Geräts. Wenn sich das Schweißgerät neben einem Durchgang befindet, können andere Arbeitnehmer, die vorbeigehen, stärkeren Feldern ausgesetzt sein als der Bediener des Schweißgeräts.

Außerdem ist es wichtig, die Risiken für diejenigen Personen zu berücksichtigen, die keine im Unternehmen beschäftigten Mitarbeiter sind, aber dennoch in der Arbeitsstätte anwesend sein können. Dazu zählen beispielsweise Besucher, Servicetechniker, andere Auftragnehmer und Lieferpersonal.

5.3.4 Besonders gefährdete Arbeitnehmer

Es besteht die Pflicht, besonders gefährdete Arbeitnehmer zu berücksichtigen. Die EMF-Richtlinie gibt hier vier Gruppen von Arbeitnehmern an, die unter diese Kategorie fallen (weitere Einzelheiten enthält Tabelle 3.1):

- Arbeitnehmer, die aktive implantierte medizinische Geräte tragen;
- Arbeitnehmer, die passive implantierte medizinische Geräte tragen;
- Arbeitnehmer, die medizinische Geräte am Körper tragen;
- schwangere Arbeitnehmerinnen.

Arbeitnehmer, die einer der genannten Gruppen angehören, sind durch elektromagnetische Felder unter Umständen stärker gefährdet als die allgemeine Belegschaft. Deshalb sollte in Bezug auf diese Arbeitnehmer eine spezielle Risikobewertung durchgeführt werden (siehe Abschnitt 5.4.1.3 unten). In manchen Fällen kann es sich erweisen, dass das Risiko tolerierbar ist, in anderen Fällen hingegen kann es notwendig sein, die Arbeitsbedingungen entsprechend zu verändern, um das Risiko zu verringern.

5.4 Schritt 3 – Risikobewertung und Prioritätensetzung

5.4.1 Risikobewertung

Die Risikobewertung kann unterschiedlich komplex sein und von der einfachen Beurteilung, ob ein Risiko niedrig, mittel oder hoch ist, bis hin zu einer umfassenden quantitativen Analyse reichen. Eine einfache Beurteilung ist normalerweise angemessen, wenn alle

Felder ein niedriges Niveau haben, d. h., wenn für alle Tätigkeiten und Arbeitsmittel in *allen* Spalten in Tabelle 3.2 „Nein“ angegeben ist. Wenn davon auszugehen ist, dass Felder stärker sind, ist die Bewertung in der Regel komplexer und kann eine quantitative Bewertung umfassen, um das Ausmaß einer Gefahr zu bestimmen.

Die Risikobewertung sollte die Schwere des gefährlichen Ereignisses und die Wahrscheinlichkeit seines Eintretens berücksichtigen.

Der zugewiesene Schweregrad sollte die erwarteten Folgen des gefährlichen Ereignisses widerspiegeln. Wechselwirkungen elektromagnetischer Felder am Arbeitsplatz können eine Reihe möglicher Folgen unterschiedlicher Schwere hervorrufen. Die folgende Tabelle 5.3 enthält einige Beispiele für mögliche Folgen und deren Schweregrade. In der Praxis weist der Risikobewerter einen Schweregrad zu, der von der Stärke des zugänglichen Feldes und anderen örtlichen Gegebenheiten abhängt.

Tabelle 5.3 Beispiele möglicher Folgen und Schweregrade infolge von Wechselwirkungen elektromagnetischer Felder am Arbeitsplatz

Folgen	Schweregrad
Gefühl von Schwindel und Übelkeit Wahrgenommene Lichtblitze (Phosphene) Kribbeln oder Schmerzen (Nervenstimulation) Geringfügige Erhöhung der Gewebetemperatur Mikrowellenhören	Gering
Bewegung ferromagnetischer Projektile in statischen Magnetfeldern Störungen bei implantierten medizinischen Geräten Starke Erhöhung der Gewebetemperatur	Schwerwiegend
Entzündung entzündlicher Materialien Auslösung von Detonatoren	Lebensgefährlich

Bei der Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses sind mehrere Faktoren zu berücksichtigen, einschließlich Zugang zum Feld und Art der Arbeitsaufgaben. Häufig ist der Zugang zu starken Feldern aus anderen Gründen beschränkt, zum Beispiel aufgrund mechanischer oder elektrischer Gefahren. In diesem Fall sind keine weiteren Beschränkungen erforderlich. Gleichmaßen ist bei der Bewertung der Wahrscheinlichkeit der Arbeitsprozess zu betrachten. Ein Induktionsofen beispielsweise arbeitet während der anfänglichen Heizphase mit voller Leistung. Während dieser Phase halten sich aber für gewöhnlich keine Arbeitnehmer in unmittelbarer Nähe des Ofens auf. In einer späteren Phase, wenn das Füllgut geschmolzen ist, arbeitet der Ofen in der Regel mit herabgesetzter Leistung, und die elektromagnetischen Felder sind wesentlich schwächer.

Bei der Risikobewertung müssen alle bereits bestehenden Präventions- oder Schutzmaßnahmen in Betracht gezogen werden (siehe Abschnitt 5.3.2).

Elektromagnetische Felder können Risiken durch direkte sowie durch indirekte Wechselwirkungen verursachen, wobei die jeweiligen Risiken getrennt zu beurteilen sind. Des Weiteren sind manche Arbeitnehmer unter Umständen besonders gefährdet (siehe Abschnitt 5.3.4 oben). Die Risiken für diese Arbeitnehmer sind einer speziellen Bewertung zu unterziehen.



Wichtig: Risikobewertung

Die Bewertung von Risiken ist nicht zwangsweise komplex, und Arbeitgeber können Tabelle 3.2 heranziehen, um den erforderlichen Detaillierungsgrad zu bestimmen. Die Bewertung sollte die Schwere des gefährlichen Ereignisses und die Wahrscheinlichkeit seines Eintretens berücksichtigen.

5.4.1.1 Direkte Wirkungen

Bei der Bewertung der Risiken infolge direkter Wechselwirkungen elektromagnetischer Felder mit Arbeitnehmern müssen die Eigenschaften der zugänglichen Felder berücksichtigt werden. Die Hauptfaktoren, die das Ausmaß einer Gefahr bestimmen, sind die vorhandene Frequenz (oder Frequenzen) sowie die Feldstärke. Jedoch können auch weitere Faktoren wie die Wellenform, die räumliche Homogenität und die Änderung der Feldstärke im zeitlichen Verlauf eine wichtige Rolle spielen.

Ausschlaggebend bei diesem Aspekt der Bewertung ist die Feststellung, ob Arbeitnehmer elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sein können, die die Expositionsgrenzwerte überschreiten (siehe Kapitel 6). Wenn die Expositionsgrenzwerte nicht überschritten werden können, besteht keine Gefahr einer direkten Wirkung.

Im Allgemeinen können Expositionsgrenzwerte für zeitvariable Felder mit Frequenzen zwischen 1 Hz und 6 GHz nicht leicht gemessen oder berechnet werden. Daher dürften die meisten Arbeitgeber es als einfacher erachten, festzustellen, ob zugängliche Felder die Auslöseschwellen für direkte Wirkungen überschreiten. Werden die Auslöseschwellen nicht überschritten, können auch die Expositionsgrenzwerte nicht überschritten werden.

Gemäß der EMF-Richtlinie müssen Arbeitgeber nur dann anhand eigener Berechnungen oder Messungen feststellen, ob die Auslöseschwellen eingehalten werden, wenn diese Informationen anderen Quellen nicht entnommen werden können. Bei vielen Arbeitgebern dürften in Tabelle 3.2 für sämtliche Tätigkeiten und Arbeitsmittel in ihrem Unternehmen alle drei Spalten ein „Nein“ enthalten. In diesem Fall werden die Auslöseschwellen nicht überschritten, selbst wenn mehrere Tätigkeiten oder Arbeitsmittel dieser Art in unmittelbarer Nähe zusammentreffen. Auch wenn Tätigkeiten oder Arbeitsmittel in Tabelle 3.2 nicht aufgeführt sind, sind unter Umständen Informationen aus anderen Quellen verfügbar, die bestätigen, dass die Auslöseschwellen nicht überschritten werden (siehe Kapitel 7).

Wenn es Arbeitgebern nicht möglich ist, die Einhaltung der Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerte anhand leicht zugänglicher Informationen nachzuweisen, können sie entweder eine eingehendere Bewertung durchführen (siehe Kapitel 8) oder Maßnahmen erwägen, um den Zugang zu den Feldern zu beschränken (siehe Kapitel 9).

5.4.1.2 Indirekte Auswirkungen

Elektromagnetische Felder können Sicherheits- und Gesundheitsrisiken durch die Wechselwirkung mit im Feld vorhandenen Gegenständen verursachen. Die EMF-Richtlinie schreibt vor, dass diese Risiken ebenfalls zu bewerten sind, wobei diese Bewertung separat von den durch direkte Wirkungen verursachten Risiken durchgeführt werden muss.

In der EMF-Richtlinie wird eine Reihe indirekter Auswirkungen aufgeführt, die eine Bewertung erfordern:

- Störungen bei elektronischen medizinischen Vorrichtungen und Geräten, einschließlich Herzschrittmachern und anderen implantierten oder am Körper getragenen medizinischen Geräten;
- Verletzungsrisiko durch die Projektilwirkung ferromagnetischer Gegenstände in statischen Magnetfeldern;
- Auslösung von elektrischen Zündvorrichtungen (Detonatoren);
- Brände und Explosionen, verursacht durch die Entzündung von entzündlichen Materialien durch Funkenbildung aufgrund von induzierten Feldern, Kontaktströmen oder Funkenentladungen;
- Kontaktströme.

Viele dieser indirekten Auswirkungen treten nur in bestimmten Situationen auf. Daher besteht für die meisten Arbeitgeber der erste Schritt in der Feststellung, ob es überhaupt wahrscheinlich ist, dass solche Risiken in ihrer Arbeitsstätte auftreten.

Die EMF-Richtlinie enthält Auslöseschwellen, mit deren Hilfe Arbeitgeber die Risiken für zwei der genannten indirekten Auswirkungen bewerten können: Projektwirkung ferromagnetischer Gegenstände in statischen Magnetfeldern und Kontaktströme. Wird die Auslöseschwelle nicht überschritten, ist das Risiko niedrig, und es müssen keine weiteren Präventions- oder Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

Für die restlichen indirekten Auswirkungen sind keine Auslöseschwellen angegeben. Hier liefern europäische Normen weitere Hilfestellung für die Risikobewertung. Dieses Thema wird in Anhang E des vorliegenden Leitfadens behandelt.

5.4.1.3 Besonders gefährdete Arbeitnehmer

Für besonders gefährdete Arbeitnehmer (siehe Tabelle 3.1) ist die Risikobewertung in der Regel komplizierter. Die Auslöseschwellen für direkte Wirkungen bieten möglicherweise keinen angemessenen Schutz für diese Arbeitnehmer. Deshalb ist eine separate Bewertung erforderlich.

Arbeitnehmer mit medizinischen Implantaten oder mit am Körper getragenen medizinischen Geräten dürften spezielle Informationen erhalten haben, welche Feldstärken keine Gefahr für sie darstellen. Wenn dies der Fall ist, bilden diese Informationen die Grundlage für die Bewertungskriterien und sollten Vorrang vor eventuell verfügbaren allgemeineren Informationen haben. Beispielsweise werden in der auf Hochfrequenzplasmageräte bezogenen Fallstudie (Band 2) zur Bewertung des Risikos für einen Arbeitnehmer mit einem Herzschrittmacher die Angaben des Herzschrittmacherherstellers verwendet.

Sind keine speziellen Informationen in Bezug auf medizinische Implantate oder am Körper getragene medizinische Geräte sowie für schwangere Arbeitnehmerinnen verfügbar, sollten die Arbeitgeber die Hinweise in Anhang E dieses Leitfadens beachten.



Wichtig: Zu berücksichtigende Gegebenheiten

Bei der Bewertung der Risiken im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern sollten die Arbeitgeber Risiken berücksichtigen, die durch direkte Wirkungen sowie durch indirekte Auswirkungen verursacht werden. Manche Arbeitnehmer sind durch elektromagnetische Felder möglicherweise besonders gefährdet (siehe Tabelle 3.1), was ebenfalls zu beachten ist.

5.5 Schritt 4 – Entscheidung hinsichtlich Präventions- und Schutzmaßnahmen

Wenn Risiken ermittelt werden, sollte zuerst die Frage gestellt werden, ob diese Risiken ausgeräumt werden können. Wäre es möglich, die Feldstärke auf ein Niveau zu verringern, das kein Risiko darstellt, oder kann der Zugang zum Feld verhindert werden?

Sofern möglich, sollten Entscheidungen hinsichtlich Präventions- und Schutzmaßnahmen während der Phase der Konstruktion oder der Anschaffung neuer Geräte oder der Entwicklung neuer Prozesse getroffen werden.

Kapitel 9 dieses Leitfadens enthält Empfehlungen zu Präventions- und Schutzmaßnahmen, mit denen die Risiken infolge elektromagnetischer Felder auf ein Minimum reduziert werden können. Der kollektive Schutz sollte stets Vorrang vor individuellem Schutz haben.

5.6 Schritt 5 – Ergreifen von Maßnahmen

Wenn Maßnahmen ergriffen werden müssen, ist es wichtig, Prioritäten für die Umsetzung von Präventions- oder Schutzmaßnahmen zu setzen. Die Priorität sollte normalerweise abhängig vom Ausmaß des Risikos und der Schwere der Folgen im Falle des Eintritts eines gefährlichen Ereignisses festgelegt werden. Womöglich ist es nicht machbar, alle neuen Maßnahmen sofort umzusetzen. In diesem Fall kann entschieden werden, ob vorübergehende Maßnahmen zu ergreifen sind, die eine Fortführung der Arbeit erlauben, bis die dauerhaften Präventionsmaßnahmen eingerichtet sind. Alternativ ist die Entscheidung möglich, die Arbeit so lange zu stoppen, bis die neuen Maßnahmen umgesetzt sind.

5.7 Dokumentation der Risikobewertung

Es ist von Wichtigkeit, die Ergebnisse der Risikobewertung aufzuzeichnen. Die Aufzeichnungen sollten die wichtigsten Elemente der Risikobewertung umfassen, darunter die ermittelten Gefahren, die potenziell gefährdeten Arbeitnehmer und das Ergebnis der Risikobewertung. Wurden besonders gefährdete Arbeitnehmer identifiziert, ist dies ebenfalls zu dokumentieren. Außerdem sind die Anforderungen an neue Präventions- oder Schutzmaßnahmen zu dokumentieren, zusammen mit Vereinbarungen im Hinblick auf eine anschließende Überprüfung der Bewertung.

5.8 Überwachung und Überprüfung der Risikobewertung

Die regelmäßige Überprüfung der Risikobewertung ist wichtig, um festzustellen, ob sie geeignet war und die Präventions- oder Schutzmaßnahmen wirksam waren. Im Rahmen dieser Überprüfung sollten die Ergebnisse der routinemäßigen Kontrollen des Zustands der Geräte berücksichtigt werden, da eine Zustandsverschlechterung die Schlussfolgerungen der Risikobewertung beeinflussen kann. Außerdem ist eine Überprüfung der Risikobewertung unverzichtbar, wenn Änderungen am verwendeten Gerät vorgenommen oder Arbeitsmethoden modifiziert werden.

Arbeitgeber sollten auch im Hinterkopf behalten, dass sich der Zustand der Arbeitnehmer verändern kann. Beispielsweise kann ein Arbeitnehmer ein medizinisches Implantat erhalten, oder eine Arbeitnehmerin kann schwanger werden. Änderungen dieser Art sollten eine Überprüfung der Risikobewertung auslösen, damit festgestellt wird, ob die Bewertung weiterhin geeignet ist.

Wenn Arbeitnehmer zeitweilig elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sind, die die entsprechende niedrige Auslöseschwelle (Tabelle B2 in Anhang II der EMF-Richtlinie) oder einen der Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen überschreiten, können sie vorübergehende Symptome wahrnehmen. Diese Symptome können Folgendes umfassen:

- Schwindel oder Übelkeit infolge der Exposition gegenüber statischen und niederfrequenten Magnetfeldern;
- Sinnesempfindungen wie Lichtblitze (Phosphene) oder geringfügige Veränderungen der Hirnfunktionen infolge der Exposition gegenüber niederfrequenten elektromagnetischen Feldern;

- Sinnesempfindungen wie „Mikrowellenhören“ infolge der Exposition gegenüber gepulsten Hochfrequenzfeldern unter bestimmten Bedingungen (siehe Abschnitt B5 in diesem Leitfaden).

Wenn Arbeitnehmer das Auftreten solcher Symptome melden, sollte der Arbeitgeber die Risikobewertung überprüfen und, falls notwendig, aktualisieren. Gegebenenfalls müssen zusätzliche Präventions- oder Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

Abschnitt 3

KONFORMITÄTBEWERTUNGEN

6 VERWENDUNG VON EXPOSITIONSGRENZWERTEN UND AUSLÖSESCHWELLEN

Wie in Kapitel 2 dargelegt, können bei der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern je nach Frequenz unterschiedliche Wirkungen hervorgerufen werden. Demzufolge sind in der EMF-Richtlinie Expositionsgrenzwerte (ELVs) für folgende Wirkungen festgelegt:

- nichtthermische Wirkungen (0 Hz bis 10 MHz) in Anhang II;
- thermische Wirkungen (100 kHz bis 300 GHz) in Anhang III.

Zur Auswahl des korrekten Expositionsgrenzwerts muss deshalb die Frequenz (oder die Frequenzen) des elektromagnetischen Feldes bekannt sein. Es ist ersichtlich, dass sich die beiden Frequenzbereiche überschneiden. Im Zwischenfrequenzbereich (100 kHz bis 10 MHz) können sowohl thermische als auch nichtthermische Wirkungen auftreten. Demnach müssen beide Expositionsgrenzwerte beachtet werden.

Für Frequenzen zwischen 1 Hz und 6 GHz sind die Expositionsgrenzwerte in Bezug auf Größen im Inneren des Körpers definiert, die nicht problemlos gemessen oder berechnet werden können. Deshalb sind in der EMF-Richtlinie auch Auslöseschwellen (ALs) angegeben, die in Bezug auf externe Feldgrößen festgelegt sind, welche sich relativ einfach messen oder berechnen lassen. Da diese Auslöseschwellen aus den Expositionsgrenzwerten mittels konservativer Annahmen abgeleitet werden, ist bei Einhaltung der betreffenden Auslöseschwelle stets gewährleistet, dass der entsprechende Expositionsgrenzwert ebenfalls eingehalten wird. Allerdings ist es möglich, dass eine Auslöseschwelle überschritten, der Expositionsgrenzwert aber weiterhin eingehalten wird. Auf diesen Fall wird in Abschnitt 6.1 näher eingegangen. Abbildung 6.1 veranschaulicht den Prozess für die Entscheidung, ob die Konformität mit Auslöseschwellen oder mit Expositionsgrenzwerten zu bewerten ist.

Der Vergleich mit Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerten fließt in das Risikobewertungsverfahren ein. Wenn die Einhaltung der Auslöseschwellen nicht nachgewiesen werden kann, können Arbeitgeber sich dafür entscheiden, die Bewertung in Bezug auf die Expositionsgrenzwerte durchzuführen. Eine solche Bewertung dürfte aber komplexer und folglich teurer sein. In vielen Fällen können gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden, damit entweder die Auslöseschwellen oder die Expositionsgrenzwerte eingehalten werden. Nachdem der Arbeitgeber entweder die Einhaltung der betreffenden Werte nachgewiesen oder alle realisierbaren Möglichkeiten für die Umsetzung zusätzlicher Maßnahmen ausgeschöpft hat, kann die Risikobewertung fortgesetzt werden (siehe Kapitel 5).

Die vollständige Bewertung der Arbeitnehmerexposition und der Vergleich mit den Expositionsgrenzwerten können komplex sein und würden den Rahmen dieses Leitfadens sprengen. Anhang D dieses Leitfadens enthält weitere Informationen zu Bewertungen dieser Art. Der Hauptzweck des vorliegenden Kapitels besteht jedoch darin, zu erläutern, wie das Konzept der Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen in der Praxis funktioniert, damit die Arbeitgeber entscheiden können, ob sie die betreffenden Bewertungen selbst durchführen oder sich fachliche Unterstützung holen.

In der EMF-Richtlinie wird eine Reihe verschiedener Auslöseschwellen definiert, von denen mehrere gleichzeitig gelten können. Die Auslöseschwellen beziehen sich entweder auf direkte Wirkungen oder auf indirekte Auswirkungen. Bei niedrigen Frequenzen können elektrische und magnetische Felder getrennt betrachtet werden (die sogenannte quasistatische Näherung), wobei beide elektrische Felder im Körper induzieren. Somit existieren bei niedrigen Frequenzen Auslöseschwellen für elektrische und magnetische Felder. Außerdem gibt es Auslöseschwellen für Kontaktströme.

Je höher die Frequenzen werden, desto enger sind diese Felder miteinander gekoppelt, und die Wechselwirkung mit dem Körper ändert sich und bewirkt eine Energiekonzentration, die thermische Wirkungen zur Folge hat. Für diese Frequenzen existieren Auslöseschwellen für elektrische und magnetische Felder. Bei Frequenzen über 6 GHz gibt es eine zusätzliche Auslöseschwelle für die Leistungsdichte, die sich sowohl

auf die elektrische als auch auf die magnetische Feldstärke bezieht. Außerdem wurden Auslöseschwellen für induzierte Ströme durch die Gliedmaßen festgelegt, die sich auf thermische Wirkungen beziehen, sowie Auslöseschwellen für Kontaktströme. Das Konzept der Auslöseschwellen (ALs) ist in Abbildung 6.2 veranschaulicht.

Abbildung 6.1 Prozess für die Entscheidung, ob die Konformität mit Auslöseschwellen oder mit Expositionsgrenzwerten zu bewerten ist

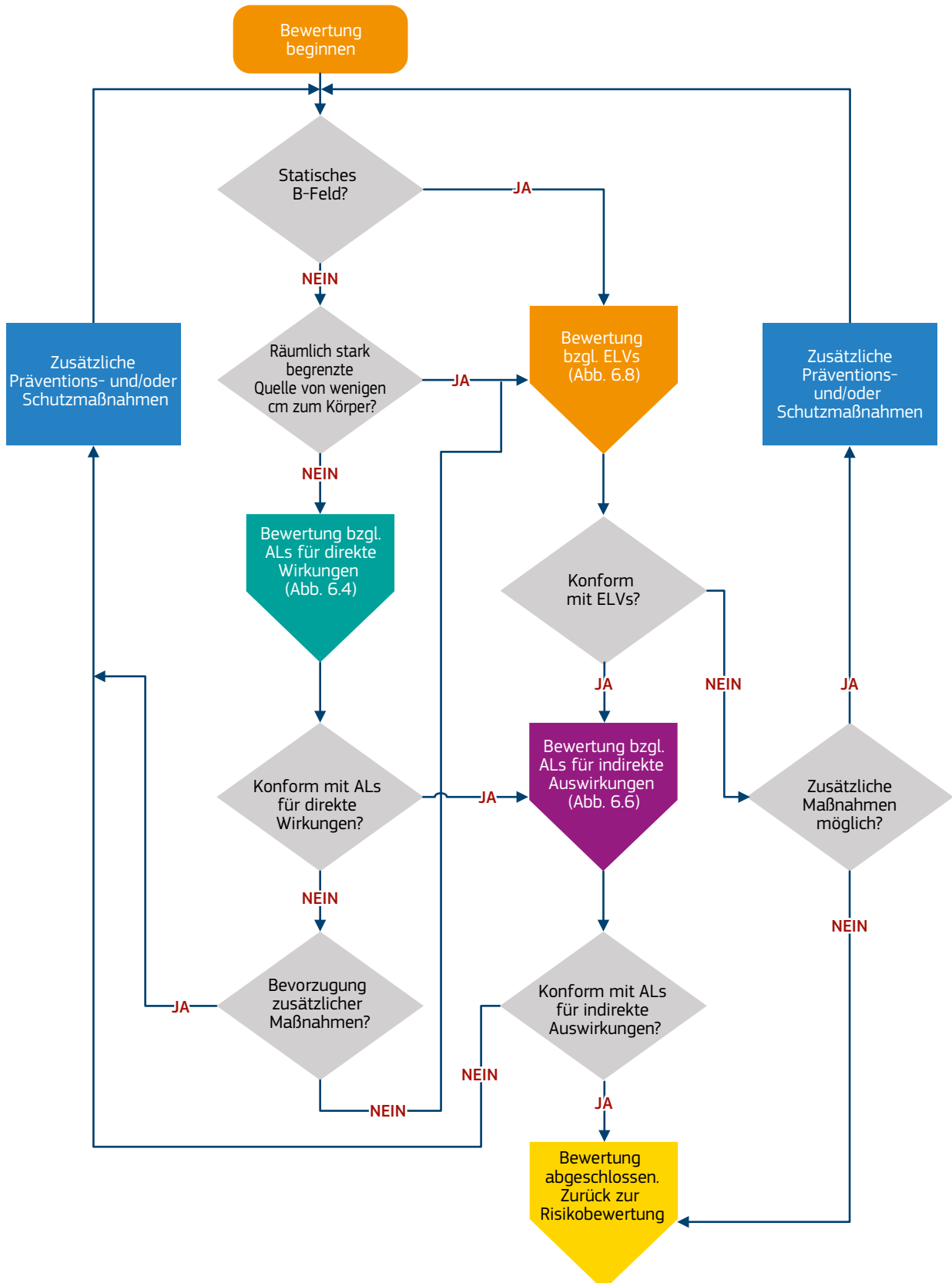
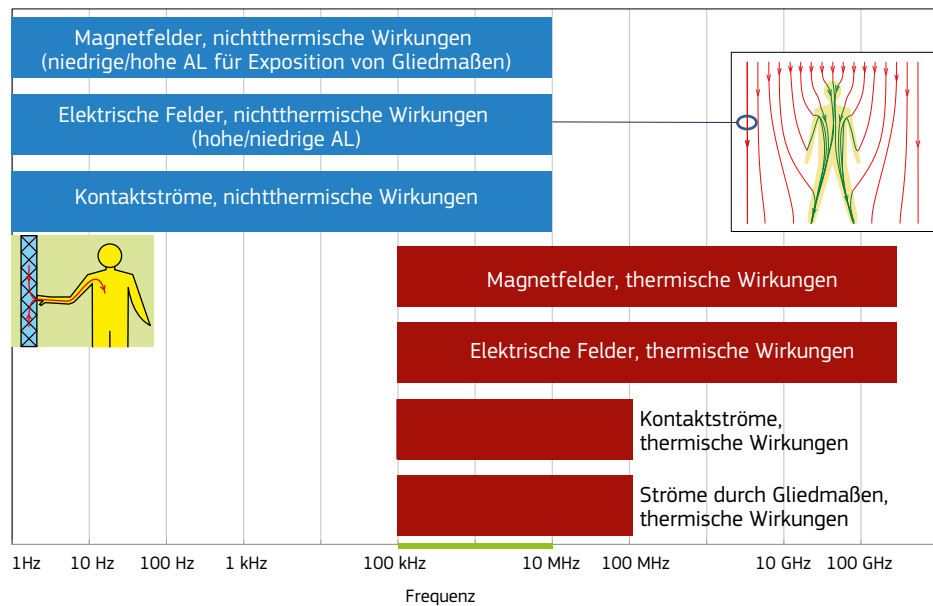


Abbildung 6.2 Frequenzbereich, in dem verschiedene Auslöseschwellen anwendbar sind

Die blauen Balken zeigen die nichtthermischen Wirkungen und die roten Balken die thermischen Wirkungen. Innerhalb des grün markierten Frequenzbereichs müssen die Auslöseschwellen sowohl für nichtthermische Wirkungen (elektrisches Feld, magnetisches Feld und Kontaktströme) als auch für thermische Wirkungen (elektrisches und magnetisches Feld) eingehalten werden.

Die Expositionsgrenzwerte und die zugehörigen Auslöseschwellen basieren auf den von der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP) veröffentlichten Leitlinien. Weitere Hintergrundinformationen zu diesen Werten können diesen Leitlinien entnommen werden; sie sind abrufbar unter www.icnirp.org (siehe Ressourcen in Anhang I).

Gemäß der EMF-Richtlinie müssen die Mitgliedstaaten die Expositionsgrenzwerte in ihre nationalen Rechtsvorschriften aufnehmen; somit sind die Arbeitgeber rechtlich verpflichtet, diese Werte einzuhalten. Die EMF-Richtlinie enthält Bestimmungen, nach denen die Kommission die Auslöseschwellen gegebenenfalls anpassen kann.



Wichtig: Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerte

Für die meisten Arbeitgeber dürfte es einfacher sein, die Einhaltung der Auslöseschwellen als die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte nachzuweisen, obwohl die Konformitätsabstände bei Auslöseschwellen wesentlich größer sein können als bei Expositionsgrenzwerten. Auslöseschwellen sind ebenfalls für manche, aber nicht für alle indirekten Auswirkungen verfügbar. Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerte bieten in der Regel keinen ausreichenden Schutz für besonders gefährdete Arbeitnehmer.

6.1 Auslöseschwellen für direkte Wirkungen

Wie bereits zuvor erwähnt, werden die Auslöseschwellen für direkte Wirkungen mittels Computersimulation und unter Annahme der ungünstigsten Wechselwirkungen aus den entsprechenden Expositionsgrenzwerten abgeleitet. Das bedeutet, dass bei Einhaltung der Auslöseschwellen die Einhaltung der entsprechenden Expositionsgrenzwerte ebenfalls garantiert ist. In vielen Situationen kann aber eine Auslöseschwelle überschritten werden, während der entsprechende Expositionsgrenzwert weiterhin eingehalten wird. In Abbildung 6.3 ist die Beziehung zwischen Auslöseschwellen und

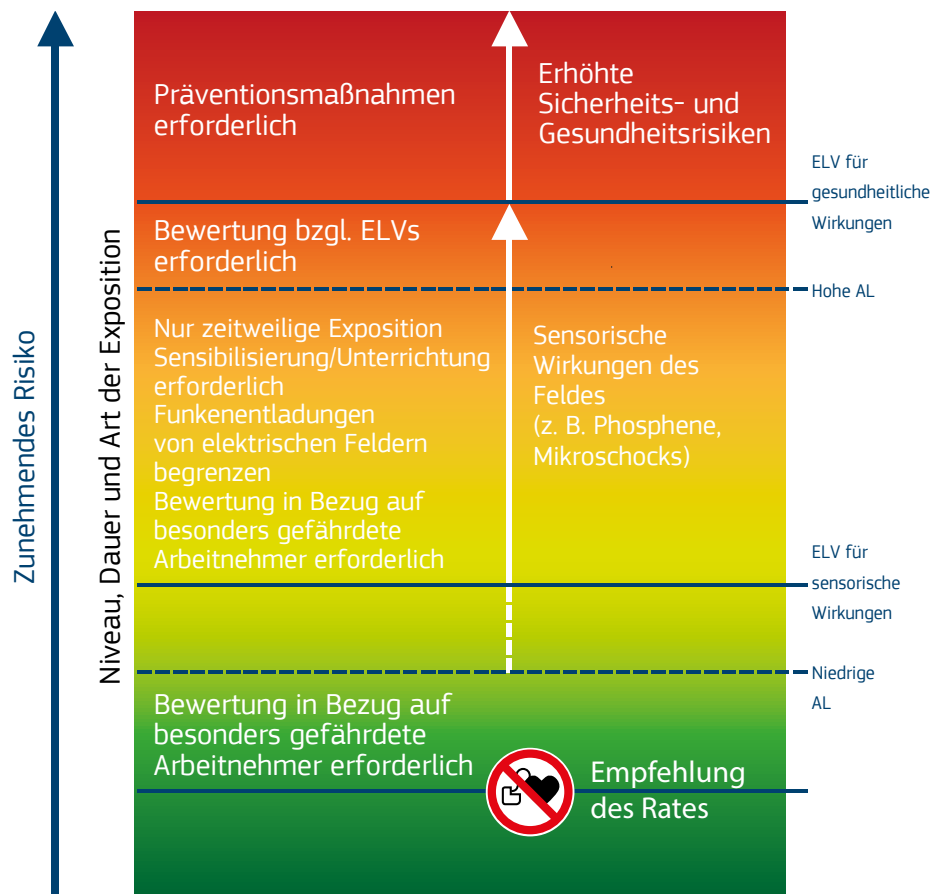
Expositionsgrenzwerten dargestellt. Für die meisten Arbeitgeber und die meisten Situationen stellen die Auslöseschwellen für direkte Wirkungen eine relativ einfache Methode dar, um die Einhaltung der zugrunde liegenden Expositionsgrenzwerte nachzuweisen.

Alle Auslöseschwellen werden für Felder angegeben, die nicht durch die Anwesenheit eines menschlichen Körpers im Feld gestört sind.

Wenn die Einhaltung der Auslöseschwellen nicht nachgewiesen werden kann, haben Arbeitgeber die Möglichkeit, entweder Schutz- und Präventionsmaßnahmen zu ergreifen oder die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte direkt nachzuweisen. Bei dieser Entscheidung müssen die Arbeitgeber bedenken, dass je nach Ergebnis der in Bezug auf die Expositionsgrenzwerte vorgenommenen Bewertung weiterhin Schutz- und Präventionsmaßnahmen erforderlich sein können.

Der Prozess zur Auswahl der Auslöseschwellen für direkte Wirkungen ist im Ablaufdiagramm in Abbildung 6.4 dargestellt.

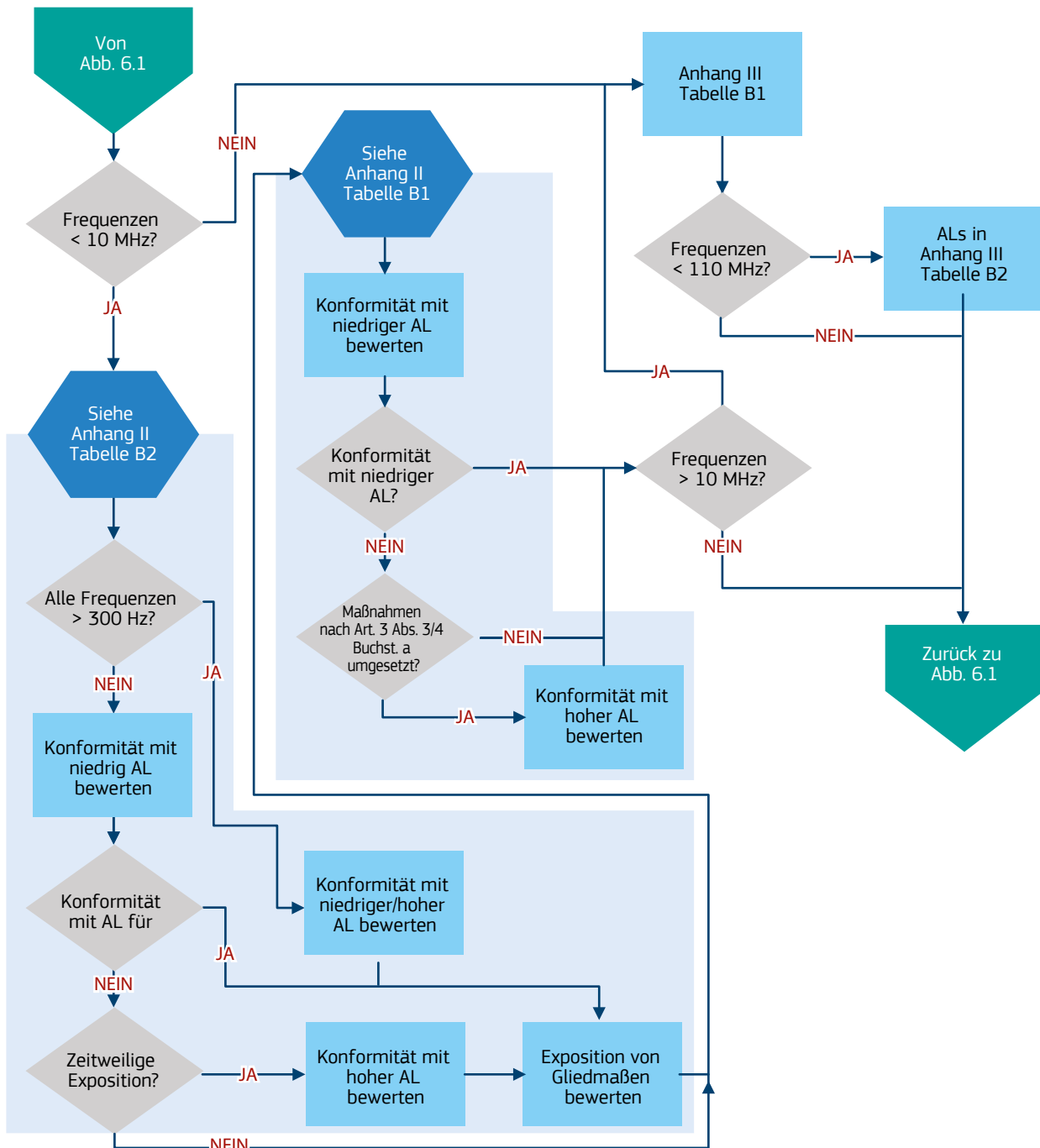
Abbildung 6.3 Schematische Darstellung der Beziehung zwischen Expositionsgrenzwerten und Auslöseschwellen



6.1.1 Auslöseschwellen für elektrische Felder (1 Hz bis 10 MHz)

Die EMF-Richtlinie definiert zwei Auslöseschwellen für niederfrequente elektrische Felder: eine niedrige und eine hohe Auslöseschwelle. Das Konzept der niedrigen und hohen Auslöseschwellen ist in Abbildung 6.3 oben dargestellt. Bei Einhaltung der niedrigen Auslöseschwelle ist sichergestellt, dass keiner der anwendbaren Expositionsgrenzwerte überschritten wird. Außerdem werden störende Funkentladungen in die Arbeitsumgebung verhindert.

Abbildung 6.4 Ablaufdiagramm zur Auswahl der Auslöseschwellen für direkte Wirkungen („Anhang“ bezieht sich auf die Anhänge der Richtlinie über elektromagnetische Felder)



Falls die elektrischen Feldstärken die niedrige Auslöseschwelle nicht überschreiten, wird keiner der anwendbaren Expositionsgrenzwerte überschritten. Überschreiten die elektrischen Feldstärken dagegen die niedrige Auslöseschwelle, reicht die Einhaltung der hohen Auslöseschwelle für sich genommen nicht aus, um störende Funkenentladungen zu verhindern. In diesem Fall müssen zur Begrenzung der Funkenentladungen zusätzliche technische, organisatorische und, sofern angemessen, persönliche Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

6.1.2 Auslöseschwellen für Magnetfelder (1 Hz bis 10 MHz)

Die EMF-Richtlinie definiert drei Auslöseschwellen für niederfrequente Magnetfelder: eine niedrige und eine hohe Auslöseschwelle sowie eine Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen.

Die niedrigen Auslöseschwellen werden aus den Expositionsgrenzwerten für sensorische Wirkungen (siehe Abschnitt 6.3.1) in der Form abgeleitet, dass die Einhaltung dieser Auslöseschwellen die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte für sensorische als auch für gesundheitliche Wirkungen garantiert. Bei Frequenzen über 300 Hz haben die niedrigen und die hohen Auslöseschwellen identische Werte.

Werden die hohen Auslöseschwellen eingehalten, ist gewährleistet, dass auch die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen, aus denen sich diese Auslöseschwellen ableiten, eingehalten werden. Allerdings ist nicht garantiert, dass bei Frequenzen unter 300 Hz ebenfalls Konformität mit den Expositionsgrenzwerten für sensorische Wirkungen besteht. Nach der EMF-Richtlinie ist eine Überschreitung der niedrigen Auslöseschwellen zulässig, sofern nachgewiesen werden kann, dass entweder die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen nicht überschritten werden oder dass im Falle einer Überschreitung diese nur zeitweilig auftritt. Dessen ungeachtet dürfen die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen nicht überschritten werden. Darüber hinaus müssen die Arbeitnehmer über möglicherweise auftretende vorübergehende Symptome und Empfindungen unterrichtet werden. Meldet ein Arbeitnehmer das Auftreten vorübergehender Symptome, so aktualisiert der Arbeitgeber erforderlichenfalls die Risikobewertung und die Präventionsmaßnahmen.

Werden die Auslöseschwellen für die Exposition von Gliedmaßen eingehalten, ist sichergestellt, dass auch die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen eingehalten werden, aus denen sich diese Auslöseschwellen ableiten. Bei den Auslöseschwellen für die Exposition von Gliedmaßen wird berücksichtigt, dass das Feld eine geringere Einkopplung in die Gliedmaßen bewirkt. Demnach sind diese Auslöseschwellen weniger streng als die hohen Auslöseschwellen. Die Verwendung der Auslöseschwellen für die Exposition von Gliedmaßen ist nur dann gerechtfertigt, wenn eine Exposition des Körpers gegenüber derselben Feldstärke unwahrscheinlich ist. Diese Auslöseschwellen könnten beispielsweise für einen Arbeitnehmer herangezogen werden, der ein Werkzeug hält, das elektromagnetische Felder erzeugt. Sie wäre allerdings nicht in dem Fall gerechtfertigt, wenn das Werkzeug bei seiner Verwendung nahe am Körper gehalten wird (siehe Abbildung 6.5). Bei der Bewertung der Exposition von Gliedmaßen in Bezug auf die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen wäre es normale Praxis, ebenfalls die Exposition des Körpers anhand der niedrigen bzw. der hohen Auslöseschwelle zu bewerten.

Abbildung 6.5 Arbeitnehmer, der ein elektrisches Werkzeug nahe am Körper hält. In dieser Situation ist die Exposition des Körpers und der Gliedmaßen gleich, und die Exposition wäre durch die Einhaltung der niedrigen bzw. der hohen Auslöseschwelle begrenzt



6.1.3 Auslöseschwellen für elektrische und magnetische Felder (100 kHz bis 300 GHz)

Für Frequenzen zwischen 100 kHz und 6 GHz definiert die EMF-Richtlinie Auslöseschwellen für die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte, die sich aus den Expositionsgrenzwerten für gesundheitliche Wirkungen ableiten. Da es sich bei den zugrunde liegenden Expositionsgrenzwerten um zeitlich gemittelte Werte handelt, ist das Quadrat der Auslöseschwelle über Intervalle von sechs Minuten zu mitteln.

Für Frequenzen über 6 GHz definiert die EMF-Richtlinie Auslöseschwellen für die elektrische Feldstärke, die magnetische Flussdichte und die Leistungsdichte. Die Auslöseschwelle für die Leistungsdichte ist über jedes Flächenelement von 20 cm² zu mitteln, unter der Voraussetzung, dass die maximale örtliche Leistungsdichte, gemittelt über 1 cm², das 20-Fache des Wertes der Auslöseschwelle für die Leistungsdichte (S) nicht überschreitet. Die Auslöseschwellen für die Leistungsdichte werden ebenfalls zeitlich gemittelt, für Frequenzen bis zu 10 GHz über Sechs-Minuten-Intervalle und für höhere Frequenzen über ein beliebiges Zeitintervall von jeweils $68/f^{1,05}$ -Minuten (wobei f die Frequenz in GHz ist). Bei darüber liegenden Frequenzen nimmt die Mittelungszeit mit steigender Frequenz ab, um die immer geringer werdende Eindringtiefe wiederzugeben.

Für Frequenzen über 6 GHz werden die Auslöseschwellen für die elektrische Feldstärke (E) und die magnetische Flussdichte (B) aus dem Expositionsgrenzwert für die Leistungsdichte abgeleitet. Deshalb sollten für Frequenzen über 6 GHz – zum Zweck der Konsistenz – die für die örtliche und die zeitliche Mittelung der Auslöseschwelle für die Leistungsdichte (S) geltenden Bedingungen ebenfalls für $[AL(E)]^2$ und $[AL(B)]^2$ gelten, auch wenn dies in der EMF-Richtlinie nicht ausdrücklich angegeben ist.

6.1.4 Auslöseschwellen für induzierte Ströme durch die Gliedmaßen (10 MHz bis 110 MHz)

Die EMF-Richtlinie gibt Auslöseschwellen für die Stärke von Hochfrequenzströmen an, die in den Gliedmaßen eines Arbeitnehmers induziert werden, der einem Hochfrequenzfeld ausgesetzt ist. Da sich diese Auslöseschwelle auf die Erwärmung von Gewebe bezieht, ist das Quadrat der Auslöseschwelle über Intervalle von sechs Minuten zu mitteln.

6.2 Auslöseschwellen für indirekte Auswirkungen

Die EMF-Richtlinie enthält Auslöseschwellen für den Schutz vor einigen indirekten Auswirkungen im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern. Der Prozess zur Auswahl der Auslöseschwellen für indirekte Auswirkungen ist im Ablaufdiagramm in Abbildung 6.6 dargestellt.

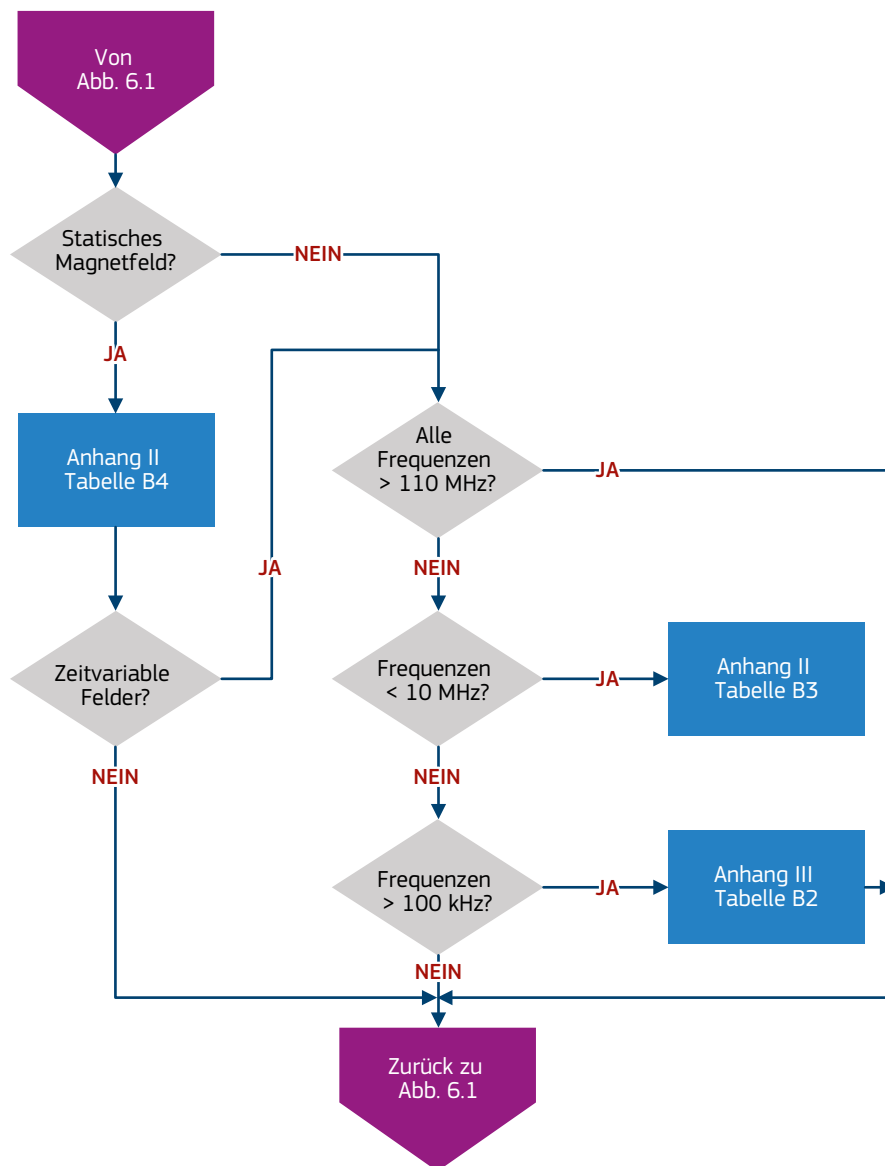
6.2.1 Auslöseschwellen für statische Magnetfelder

Um eine Störung der Funktion aktiver implantierter medizinischer Geräte zu begrenzen, ist in der EMF-Richtlinie eine Auslöseschwelle von 0,5 mT angegeben. Die EMF-Richtlinie gibt außerdem eine Auslöseschwelle von 3 mT an, um die Projektilwirkung im Streufeld von Quellen mit hohen Feldstärken (> 100 mT) zu begrenzen.

6.2.2 Auslöseschwellen für Kontaktströme (bis zu 110 MHz)

Die EMF-Richtlinie gibt Auslöseschwellen für einen stationären Kontaktstrom an, um das Risiko von Stromschlägen oder Verbrennungen zu begrenzen, wenn eine Person einen leitfähigen Gegenstand in einem Feld berührt und nur entweder die Person oder der Gegenstand geerdet ist.

Abbildung 6.6 Ablaufdiagramm zur Auswahl der Auslöseschwellen für indirekte Auswirkungen („Anhang“ bezieht sich auf die Anhänge der Richtlinie über elektromagnetische Felder)



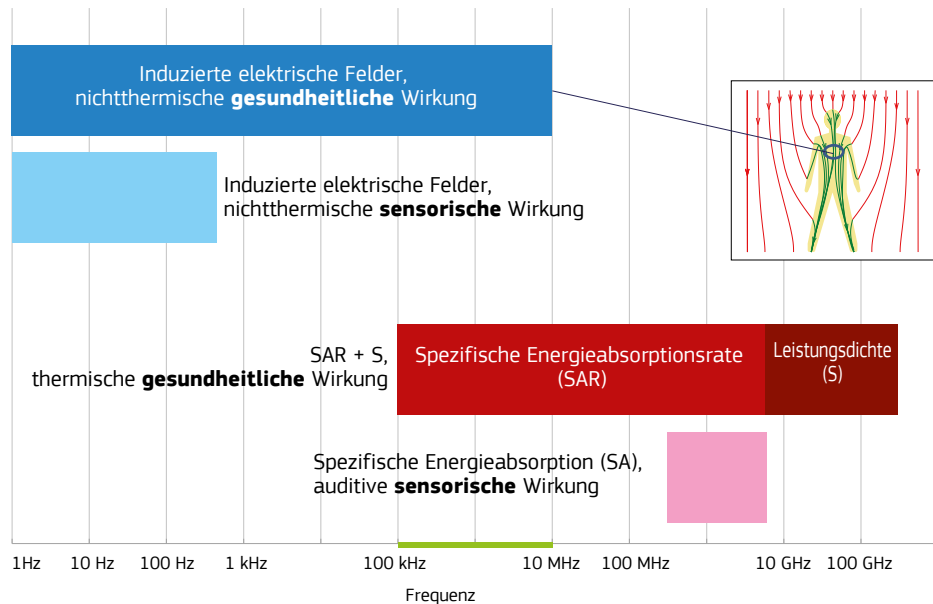
6.3 Expositionsgrenzwerte

6.3.1 Expositionsgrenzwerte für sensorische und gesundheitliche Wirkungen

In der EMF-Richtlinie sind separate Expositionsgrenzwerte für sensorische und gesundheitliche Wirkungen definiert (Abbildung 6.7). Die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen gelten nur für bestimmte Frequenzbereiche (0 bis 400 Hz und 0,3 bis 6 GHz). Bei niedrigen Frequenzen tritt eine Wahrnehmung des Feldes bei einem Expositionsniveau auf, das niedriger ist als ein Expositionsniveau, das gesundheitliche Wirkungen hervorruft. Der Expositionsgrenzwert für thermische sensorische Wirkungen bezieht sich auf die Unterbindung des „Mikrowellenhörens“, das nur unter bestimmten Bedingungen auftritt (siehe Anhang B). Demgegenüber gelten die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen für alle Frequenzen. Allgemein ist eine zeitweilige kurze

Überschreitung der Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen zulässig, sofern bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind.

Abbildung 6.7 Frequenzbereich, in dem verschiedene Expositionsgrenzwerte anwendbar sind



Die blauen Balken zeigen die nichtthermischen Wirkungen und die roten Balken die thermischen Wirkungen.

6.3.2 Expositionsgrenzwerte (0 Hz bis 1 Hz)

Expositionsgrenzwerte für den Frequenzbereich von 0 Hz bis 1 Hz sind in Bezug auf die externe magnetische Flussdichte definiert (Tabelle A1 in Anhang II der EMF-Richtlinie). Mithilfe der Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen sollen Schwindel und andere Empfindungseffekte unterbunden werden. Diese Wirkungen sind im Wesentlichen auf elektrische Felder zurückzuführen, die im Gewebe induziert werden, wenn sich der Körper in einem starken statischen Magnetfeld bewegt. Inzwischen gibt es aber Belege dafür, dass diese Wirkungen auch ohne Bewegung auftreten können. Bei einer kontrollierten Arbeitsumgebung, in der die Bewegung in einem Feld begrenzt ist und die Arbeitnehmer entsprechend unterrichtet wurden, dürfen die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen zeitweilig überschritten werden, sofern dies aus praxis- oder verfahrensbedingten Gründen gerechtfertigt ist. Die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen dürfen in diesen Fällen jedoch nicht überschritten werden.

6.3.3 Expositionsgrenzwerte (1 Hz bis 10 MHz)

Die Expositionsgrenzwerte für den Frequenzbereich von 1 Hz bis 10 MHz sind in Bezug auf die im Körper induzierten internen elektrischen Felder definiert (Tabellen A2 und A3 in Anhang II der EMF-Richtlinie).

Für Frequenzen von bis zu 400 Hz existieren Expositionsgrenzwerte sowohl für sensorische Wirkungen als auch für gesundheitliche Wirkungen. Mit den Expositionsgrenzwerten für sensorische Wirkungen sollen Phosphen der Netzhaut und geringfügige vorübergehende Veränderungen bestimmter Hirnfunktionen unterbunden werden. Demzufolge beziehen sich diese Expositionsgrenzwerte nur auf das zentrale Nervengewebe im Kopf des exponierten Arbeitnehmers.

Die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen gelten für alle Frequenzen zwischen 1 Hz und 10 MHz und dienen dazu, eine Stimulation der zentralen und

peripheren Nerven zu verhindern. Demnach beziehen sich diese Expositionsgrenzwerte auf das Gewebe im gesamten Körper des exponierten Arbeitnehmers.

6.3.4 Expositionsgrenzwerte (100 kHz bis 300 GHz)

Für Frequenzen im Bereich von 100 kHz bis 6 GHz hängt der Grad der Erwärmung infolge der Exposition von der Rate ab, mit der Energie im Gewebe absorbiert wird. Dieser Effekt wird durch die spezifische Energieabsorptionsrate (SAR) ausgedrückt, die für die Angabe der Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen verwendet wird. Hierbei sind zwei getrennte Werte zu berücksichtigen, zum einen für die Exposition des ganzen Körpers und zum anderen für die lokale Exposition (Tabelle A1 in Anhang III der EMF-Richtlinie). Die Ganzkörper-Werte schützen vor Wärmebelastung und Hitzschlag und werden als über den ganzen Körper gemittelte SAR ausgedrückt. Die lokalen Werte schützen vor einer thermischen Schädigung bestimmter Gewebe und werden als gemittelte SAR über 10 g eines beliebigen zusammenhängenden Körpergewebes ausgedrückt. Ganzkörper- als auch lokale SAR werden über Sechs-Minuten-Intervalle gemittelt.

Für Frequenzen im Bereich von 300 MHz bis 6 GHz existieren ebenfalls Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen. Diese sollen vor dem Phänomen des „Mikrowellenhörens“ schützen, das durch gepulste Felder hervorgerufen wird (Tabelle A2 in Anhang III der EMF-Richtlinie). Diese Werte werden in Bezug auf die über eine Gewebemasse von 10 g gemittelte spezifische Energieabsorption (SA) im Kopfgewebe angegeben.

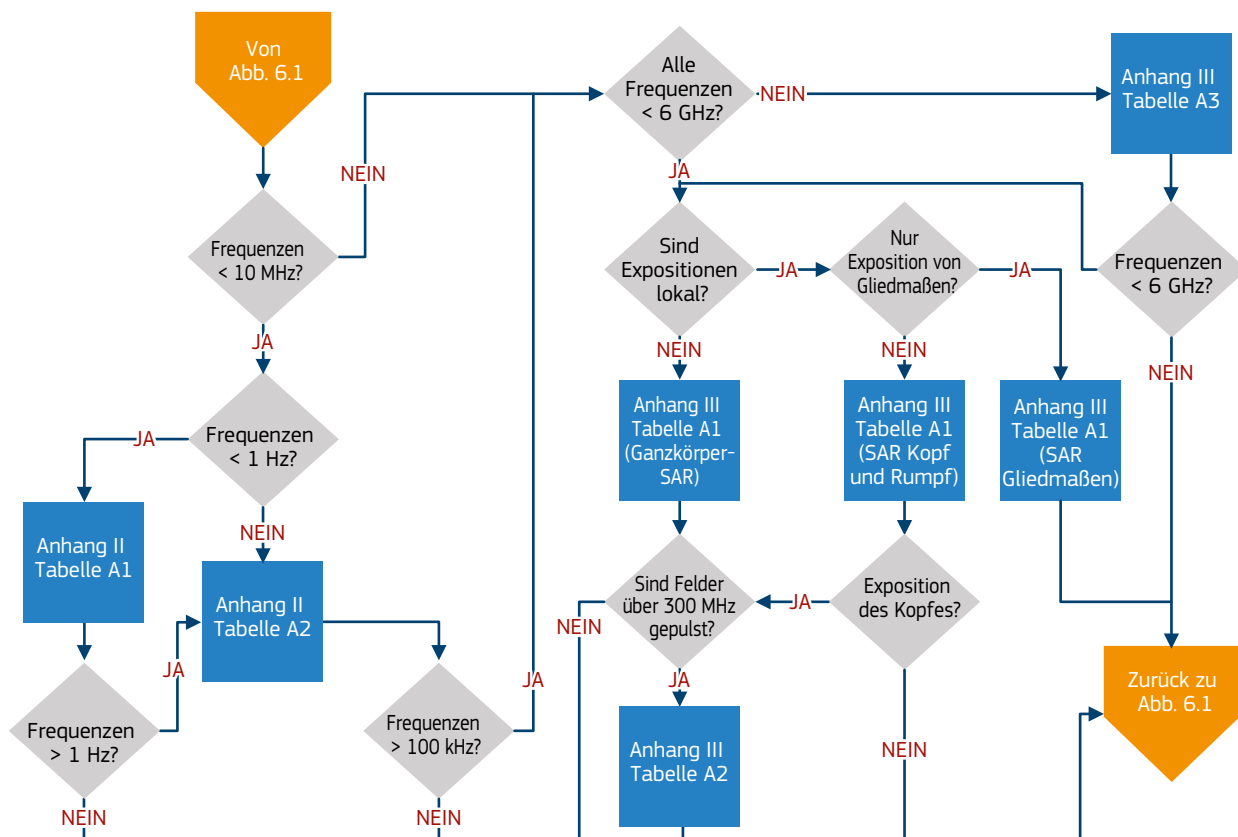
Das Eindringen elektromagnetischer Felder in den Körper verringert sich bei Frequenzen im Hochfrequenzbereich. Demnach wird bei Frequenzen über 6 GHz das Feld meistens an der Körperoberfläche absorbiert. Das bedeutet, dass es bei diesen Frequenzen wichtiger ist, die auf die Körperoberfläche auftreffende Leistungsdichte zu begrenzen, als die Rate, mit der Energie von einer Gewebemasse absorbiert wird. Die Leistungsdichte wird über ein Flächenelement von 20 cm² gemittelt, wobei ein Grenzwert für die maximale örtliche Leistungsdichte, gemittelt über 1 cm², existiert. Für Frequenzen im Bereich von 6 GHz bis 10 GHz wird die Leistungsdichte über Sechs-Minuten-Intervalle gemittelt. Bei darüber liegenden Frequenzen nimmt die Mittelungszeit mit steigender Frequenz ab, um die immer geringer werdende Eindringtiefe wiederzugeben (Tabelle A3 in Anhang III der EMF-Richtlinie).

6.4 Ausnahmen

Artikel 10 der EMF-Richtlinie gewährt unter bestimmten Voraussetzungen für drei Situationen eine Ausnahme von Artikel 3 (Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen). Allerdings hat Artikel 10 keine Auswirkung auf die allgemeine Pflicht der Arbeitgeber, nach Artikel 5 Absatz 1 sicherzustellen, dass die Gefährdung durch elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz ausgeschlossen oder auf ein Mindestmaß reduziert wird.

Die erste Ausnahme, die sich auf Geräte für bildgebende Verfahren mittels Magnetresonanz im Gesundheitswesen bezieht, ist eine Ausnahme ohne Ermessensspielraum. Die beiden restlichen Ausnahmen liegen im Ermessensspielraum der Mitgliedstaaten.

Abbildung 6.8 Ablaufdiagramm zur Auswahl der Expositionsgrenzwerte



6.4.1 Auf die Magnetresonanztomografie bezogene Ausnahme

Die Expositionsgrenzwerte können überschritten werden, wenn die Exposition mit der Aufstellung, Prüfung, Anwendung, Entwicklung und Wartung von Geräten für bildgebende Verfahren mittels Magnetresonanztomografie für Patienten im Gesundheitswesen oder damit verknüpften Forschungsarbeiten in Zusammenhang steht, sofern alle folgenden Voraussetzungen erfüllt sind:

- (i) Die Risikobewertung hat gezeigt, dass die Expositionsgrenzwerte überschritten werden.
- (ii) Nach dem Stand der Technik sind alle technischen und/oder organisatorischen Maßnahmen durchgeführt worden.
- (iii) Die Umstände rechtfertigen hinreichend eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte.
- (iv) Die spezifischen Merkmale des Arbeitsplatzes, der Arbeitsmittel oder der Arbeitsmethoden wurden berücksichtigt.
- (v) Der Arbeitgeber weist nach, dass die Arbeitnehmer weiterhin vor gesundheitsschädlichen Wirkungen und Sicherheitsrisiken geschützt sind, unter anderem, indem er sicherstellt, dass die Anleitungen für die sichere Verwendung, die der Hersteller bereitgestellt hat, eingehalten werden.

Anhang F dieses Leitfadens enthält weitere Hinweise für Arbeitgeber zu der auf die Magnetresonanztomografie bezogenen Ausnahme.

6.4.2 Auf den militärischen Bereich bezogene Ausnahme

Die Mitgliedstaaten können gestatten, dass ein gleichwertiges Schutzsystem für Arbeitnehmer angewandt wird, die in operativen militärischen Einrichtungen beschäftigt oder an militärischen Aktivitäten beteiligt sind. Voraussetzung für diese Ausnahme ist, dass gesundheitsschädliche Wirkungen und Sicherheitsrisiken vermieden werden.

6.4.3 Allgemeine Ausnahme

Die Mitgliedstaaten können unter hinreichend begründeten Umständen gestatten, dass die Expositionsgrenzwerte in bestimmten Sektoren und für bestimmte Tätigkeiten, die außerhalb des Anwendungsbereichs der beiden anderen Ausnahmen liegen, zeitweilig überschritten werden. Damit Umstände als hinreichend begründet gelten, müssen die folgenden Voraussetzungen erfüllt sein:

- (i) Die Risikobewertung hat gezeigt, dass die Expositionsgrenzwerte überschritten werden.
- (ii) Nach dem Stand der Technik sind alle technischen und/oder organisatorischen Maßnahmen durchgeführt worden.
- (iii) Die spezifischen Merkmale des Arbeitsplatzes, der Arbeitsmittel oder der Arbeitsmethoden wurden berücksichtigt.
- (iv) Der Arbeitgeber weist nach, dass die Arbeitnehmer weiterhin vor gesundheitsschädlichen Wirkungen und Sicherheitsrisiken geschützt sind, hierzu gehört auch die Anwendung vergleichbarer, spezifischerer und international anerkannter Normen und Leitlinien.

7 NUTZUNG VON DATENBANKEN UND DER VON HERSTELLERN BEREITGESTELLTEN EMISSIONSDATEN

Informationen über Expositionen sind unter Umständen von den Geräteherstellern erhältlich. Darüber hinaus führen Regierungsstellen, Berufsgenossenschaften oder Handelsverbände eventuell Datenbanken mit allgemeinen Expositionsbewertungen. Falls solche Informationen verfügbar und maßgeblich sind, ist das für Arbeitgeber der einfachste Weg, Konformität mit der EMF-Richtlinie nachzuweisen. Demnach möchten die meisten Arbeitgeber wahrscheinlich diese Möglichkeit nutzen, bevor sie eine Expositionsbewertung mittels Messungen oder Berechnungen in Erwägung ziehen.

7.1 Nutzung der von Herstellern bereitgestellten Informationen

Arbeitgeber müssen wissen, dass sich ihre Pflichten gemäß der EMF-Richtlinie auf die Gesamtexposition eines Arbeitnehmers beziehen und nicht auf die von einem bestimmten Gerät ausgehende Exposition. In der Bewertung muss somit die Exposition berücksichtigt werden, die von allen Quellen in der Arbeitsumwelt ausgeht. Dagegen beziehen sich die von den Herstellern bereitgestellten Informationen auf das spezielle Gerät, das sie herstellen.

Bei den meisten Geräten nimmt die Feldstärke mit zunehmendem Abstand zur Quelle rasch ab (siehe Abbildung 3.2). Das bedeutet, dass in vielen Fällen die Exposition des Arbeitnehmers hauptsächlich von einem oder schlimmstenfalls von einigen wenigen Geräten in unmittelbarer Nähe des Arbeitsplatzes ausgeht. Infolgedessen ist für Arbeitgeber häufig die Information maßgeblich, in welcher Form die betreffenden Felder mit zunehmendem Abstand zum Gerät schwächer werden. Bei der Bestimmung der Exposition von Arbeitnehmern infolge mehrerer Quellen dürfen die von Nebenanlagen wie Netzkabeln, Stromquellen und Schaltanlagen erzeugten Felder nicht außer Acht gelassen werden.

Die von den Geräteherstellern bereitgestellten Informationen sind zwar eine einfache Möglichkeit zur Bewertung der Exposition, allerdings ist Vorsicht bei deren Verwendung geboten. Es gibt mehrere Gründe, warum Hersteller Informationen über elektromagnetische Felder im Zusammenhang mit dem von ihnen produzierten Gerät bereitstellen. Ein Grund für die Angabe der vom Gerät erzeugten Feldstärke ist beispielsweise, dass diese Information für die Funktion des Geräts von Bedeutung und somit Teil der Spezifikation ist. Ein weiterer Grund ist der Nachweis, dass das Gerät die auf die elektromagnetische Verträglichkeit bezogenen Anforderungen europäischer Produktrichtlinien erfüllt (siehe Anhang G). Während solche Informationen für Sicherheitsaspekte in Verbindung mit Wechselwirkungen maßgeblich sein können, sind sie für die Expositionsbewertung nicht unbedingt hilfreich.

Informationen, die aus Sicht der Arbeitgeber am hilfreichsten wären, ist zum Beispiel die Bewertung der typischen Exposition eines Arbeitnehmers beim bestimmungsgemäßen Gebrauch des Geräts zusammen mit Informationen darüber, in welcher Form sich die Felder mit zunehmendem Abstand verringern. Alternativ würde die Angabe der auf die Auslöseschwellen bezogenen Feldstärken an verschiedenen zugänglichen Positionen im Umfeld des Geräts die Arbeitgeber in die Lage versetzen, eigene Bewertungen im Hinblick auf die Einhaltung der zulässigen Werte bei Verwendung des Geräts durchzuführen.



Wichtig: Informationen aus Datenbanken und von Herstellern

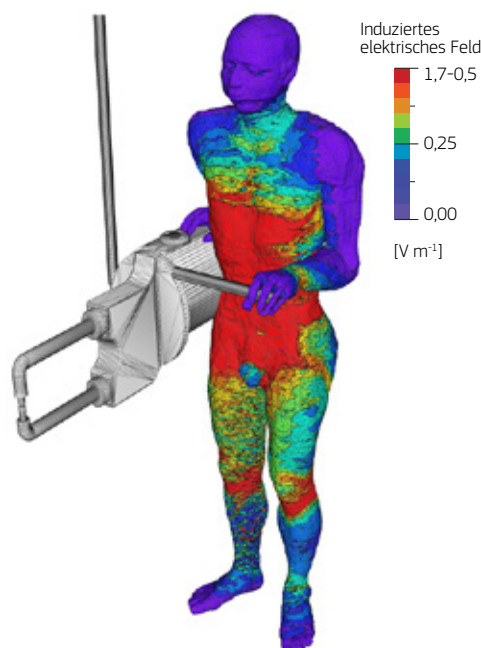
Sind Informationen aus Datenbanken und von Herstellern verfügbar, ist es für die Arbeitgeber wesentlich einfacher, auf diesem Weg die Einhaltung der zulässigen Expositionen nachzuweisen, als selbst spezielle Bewertungen durchzuführen. Anbieter von Maschinen sind gesetzlich verpflichtet, zu gewährleisten, dass die Emissionen für den Menschen nicht gefährlich sind (siehe Anhang H). Außerdem müssen sie Angaben zu Restrisiken und zu erwartenden Emissionen machen, durch die Menschen, darunter auch Personen mit implantierten medizinischen Geräten, Schaden erleiden könnten.

7.1.1 Grundlagen für Bewertungen seitens der Gerätehersteller

Manche Hersteller veröffentlichen unter Umständen Bewertungen für ihre Geräte, die unter Anwendung standardisierter Verfahren vorgenommen wurden. Jedoch werden viele Messnormen mit Blick auf die Emissionen und nicht im Hinblick auf die Exposition von Menschen entwickelt. Diese Emissionsnormen bieten standardisierte Verfahren für die Laborüberprüfung der Stärke elektromagnetischer Felder, die von bestimmten Typen elektrischer Geräte erzeugt werden. Bei diesen Normen steht der Feldwert an einem bestimmten räumlichen Punkt im Mittelpunkt, und diese Normen sind hilfreich, um unterschiedliche Geräte oder Vorrichtungen zu vergleichen. Diese Normen haben aber womöglich einen begrenzten Nutzen, wenn es darum geht, die Exposition beim bestimmungsgemäßen Gebrauch in Bezug auf Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerte zu bewerten.

Beispielsweise empfiehlt die aktuelle harmonisierte Norm für die Konformitätsprüfung von Schweißgeräten, dass Felder in einem Abstand von 20 cm zum Schweißkabel zu messen sind, da in diesem Fall die Messung besser reproduzierbar ist. Dagegen kann bei der alltäglichen Verwendung des Geräts das Kabel Kontakt mit dem Körper des Arbeitnehmers haben oder sich in der Nähe von Sinnesgewebe im Kopf des Arbeitnehmers befinden. Abbildung 7.1 veranschaulicht, wie eine Punktschweißzange nahe am Körper des Arbeitnehmers und deutlich unter dem angegebenen Abstand von 20 cm gehalten wird. Natürlich wird diese Schwachstelle in künftigen Ausgaben der Norm behoben werden.

Abbildung 7.1 Verteilung des in einem Menschmodell induzierten elektrischen Feldes infolge der Exposition durch eine tragbare Punktschweißzange. Dies ist eine beispielhafte Situation, in der die Quelle des elektromagnetischen Feldes einen deutlich geringeren Abstand als 20 cm zum Körper hat



Anmerkung: Das Beispiel in der Abbildung dient lediglich zur Veranschaulichung und ist nicht auf eine bestimmte Situation zu übertragen.

Dieses Beispiel soll zeigen, dass vor der Nutzung der von den Geräteherstellern veröffentlichten Daten der Arbeitgeber verstehen sollte, welche Norm diesen Daten zugrunde liegt und zu welchem Zweck die Daten erstellt wurden.

7.2 Bewertungen enthaltende Datenbanken

Datenbanken, die allgemeine Bewertungen für bestimmte Industriezweige enthalten, können sehr hilfreich sein. Solche Datenbanken werden beispielsweise von Regierungsstellen, Berufsgenossenschaften oder Handelsverbänden erstellt. In allen Fällen dürfte die vorrangige Überlegung hierbei sein, den Arbeitgebern die Zeit und die Kosten für die Durchführung spezieller Bewertungen zu ersparen. Im Falle relativ standardisierter Arbeitsmittel und Arbeitsmethoden handelt es sich hierbei um eine pragmatische und kostensparende Lösung.

Wenn Arbeitgeber die Verwendung von Informationen aus Datenbanken erwägen, sollten sie prüfen, ob das Gerät sowohl in der Bewertung in der Datenbank als auch in ihrer eigenen Arbeitsstätte bestimmungsgemäß verwendet wird. Des Weiteren sind die Bewertungsdaten unter Umständen nicht maßgeblich, wenn das Gerät ein deutlich anderes Alter hat oder nicht ordnungsgemäß gewartet wurde.

Die Europäische Kommission hat Unterstützung bei der Entwicklung eines Softwarepakets geleistet, das Arbeitgeber bei der Bewertung von Schweiß- und verwandten Verfahren unterstützen soll. Weitere Informationen zu diesem Projekt sind auf der EMFWeld-Website verfügbar (www.emfweld.com).

7.3 Bereitstellung von Informationen seitens der Gerätehersteller

Hersteller, die Geräte anbieten, welche in den Anwendungsbereich der Maschinenrichtlinie fallen (siehe Anhang G), müssen bei der Angabe von Informationen bestimmten Verpflichtungen nachkommen. Zur Erfüllung der grundlegenden Anforderungen muss der Hersteller Informationen zu Restrisiken und zu den vom Benutzer zu treffenden Schutzmaßnahmen zur Verfügung stellen.

Wenn die Maschine nichtionisierende Strahlung abgeben kann, die Personen, insbesondere Träger implantierbarer medizinischer Geräte, schädigen kann, so ist der Hersteller verpflichtet, Angaben über die Strahlung zu machen, der das Bedienungspersonal und gefährdete Personen ausgesetzt sind.

7.3.1 Bewertungsnormen

Normungsausschüsse entwickeln aktiv Normen, um Herstellern Hilfestellung bei der Bewertung der Emissionen in Bezug auf die in der EMF-Richtlinie angegebenen Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerte zu leisten. In manchen Fällen geben diese Normen auch an, in welcher Form die Bewertungsergebnisse den Geräteköfern mitzuteilen sind.

Deshalb muss ein Hersteller zuallererst feststellen, ob eine maßgebliche Norm veröffentlicht wurde und ob sie sich auf die aktuelle EMF-Richtlinie bezieht. Ist eine maßgebliche Norm vorhanden und enthält diese Empfehlungen zur Mitteilung von Bewertungsergebnissen, sollte der Hersteller diese befolgen.

Hersteller können sich ebenfalls dafür entscheiden, zusätzliche, nicht in der Norm angegebene Informationen zur Verfügung zu stellen, wenn sie der Auffassung sind, dass diese Informationen für einen Käufer hilfreich sein können.

7.3.2 Existiert keine maßgebliche Norm

Falls keine maßgebliche Norm existiert, an der sich der Hersteller orientieren kann, können die folgenden Bewertungsinformationen den Käufer dabei unterstützen, angemessene Bewertungen in seiner eigenen Arbeitsstätte durchzuführen.

Die ersten drei Informationsblöcke liefern dem Käufer Hintergrundinformationen zur Art der erwarteten Wirkungen und zur Form der durchgeführten Bewertung. Für den Käufer ist es besonders wichtig zu wissen, ob die der Bewertung zugrunde gelegten Betriebsbedingungen die Art und Weise wiedergeben, in der er das Gerät zu verwenden beabsichtigt.

Die nächsten beiden Informationsblöcke sind für das Verständnis hilfreich, welche Expositionen des Bedieners wahrscheinlich sind und ob Beschränkungen umzusetzen sind oder das Personal unterwiesen werden muss.

Die beiden letzten Informationsblöcke können für eine einfache Bewertung der Wirkungen herangezogen werden, für den Fall, dass mehrere Geräteeinheiten im selben Bereich aufgestellt werden. Arbeitgeber können anhand der Konturen, die den prozentualen Wert der Auslöseschwelle oder den prozentualen Wert der in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates angegebenen Referenzwerte darstellen, eine einfache Bewertung der kumulativen Wirkung durchführen, die durch die Aufstellung von Geräten in unmittelbarer Nähe zueinander hervorgerufen wird.

Dieser Ansatz hat häufig eine zu hohe Einschätzung der resultierenden Feldstärken zur Folge. Der Grund ist, dass die Quellen unter Umständen nicht alle gleichzeitig betrieben werden und sich Felder häufig aufgrund von Phasenverschiebungen aufheben. Nichtsdestotrotz ist dieser Ansatz einfach anwendbar und ermöglicht den meisten Käufern einen einfachen Nachweis der Konformität.

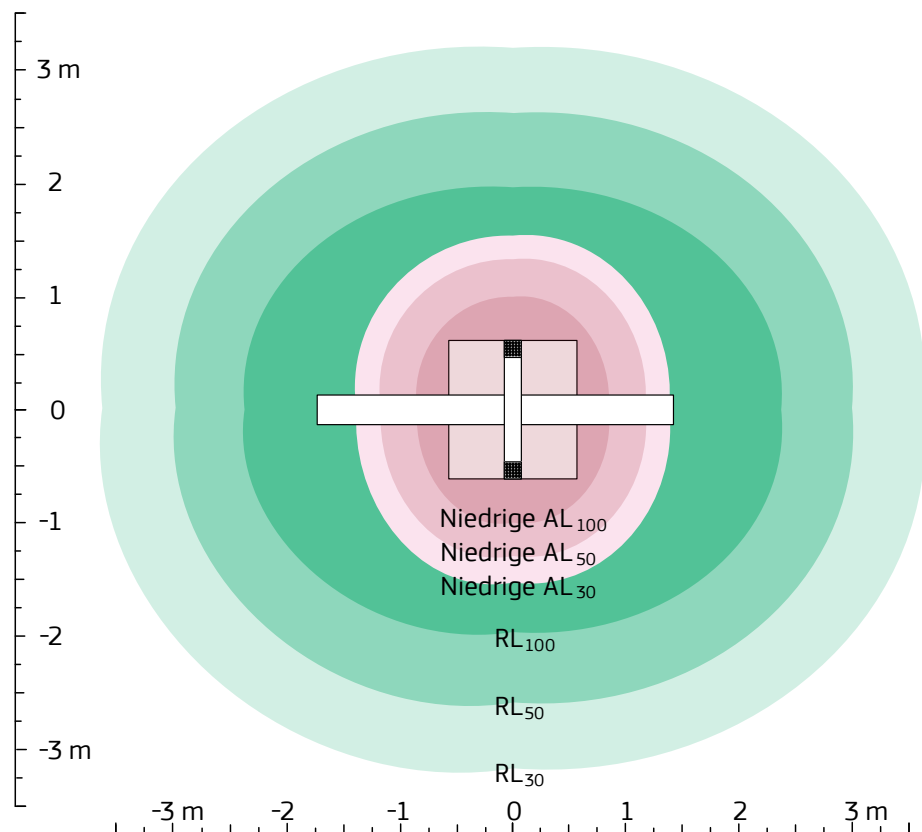
Tabelle 7.1 Vorschläge für die von Herstellern bereitzustellenden Informationen

Bei der Bewertung eines Arbeitsplatzes zu berücksichtigende Gegebenheiten:	<ul style="list-style-type: none"> • nichtthermische Wirkungen • thermische Wirkungen • indirekte Auswirkungen (angeben)
Der Bewertung zugrundeliegende Betriebsbedingungen:	<ul style="list-style-type: none"> • maximales Leistungsvermögen der Stromquelle • Worst-Case-Szenarien (angeben) • typische Szenarien (angeben)
Mittlung des Bewertungsergebnisses:	
<ul style="list-style-type: none"> • örtliche Mittelung • zeitliche Mittelung 	
Überschreitet die Exposition am normalen Standort des Bedieners beim bestimmungsgemäßen Gebrauch folgende Werte:	
<ul style="list-style-type: none"> • niedrige AL • hohe AL • AL für Exposition von Gliedmaßen 	<p style="text-align: center;">} ODER {</p> <ul style="list-style-type: none"> • ELV für sensorische Wirkungen • ELV für gesundheitliche Wirkungen
Überschreitet die Exposition am normalen Standort des Bedieners beim bestimmungsgemäßen Gebrauch die maßgeblichen Werte gemäß der Empfehlung 1999/519/EG des Rates für:	
<ul style="list-style-type: none"> • Referenzwerte 	<p style="text-align: center;">} ODER {</p> <ul style="list-style-type: none"> • Basisgrenzwerte
Wenn die Feldstärken eine oder mehrere Auslöseschwellen überschreiten können, maximale Abstände oder vorzugsweise einen Konturplan für die folgenden prozentualen Anteile der Auslöseschwelle angeben:	
<ul style="list-style-type: none"> • 100 % • 50 % • 30 % 	
Wenn die Feldstärken einen oder mehrere Referenzwerte überschreiten können, maximale Abstände oder vorzugsweise einen Konturplan für die folgenden prozentualen Anteile des Referenzwerts angeben:	
<ul style="list-style-type: none"> • 100 % • 50 % • 30 % 	

Allgemein ist die Anzahl der Geräteeinheiten, die in unmittelbarer Nähe zueinander aufgestellt werden können, aufgrund physikalischer Überlegungen begrenzt. Da die Stärke von Feldern mit zunehmendem Abstand zur Quelle in der Regel rasch abnimmt (siehe Kapitel 3), ist es unwahrscheinlich, dass in größerem Abstand aufgestellte Geräte wesentlich zur Exposition beitragen.

Abbildung 7.2 zeigt Konturpläne, die für Geräte bereitgestellt werden können.

Abbildung 7.2 Veranschaulichung von Konturplänen, die vom Hersteller bereitgestellt werden können, damit Benutzer anhand dieser Pläne sicherstellen können, dass die kumulative Wirkung mehrerer Geräteeinheiten am Arbeitsplatz nicht zu einer Überschreitung der Auslöseschwellen führt



Das Beispiel zeigt ein allgemeines Geräteteil mit Konturen, die den Abstand wiedergeben, bei dem das Feld gleich 100 %, 50 % und 30 % (durch die tiefgestellten Zahlen angegeben) der betreffenden Auslöseschwelle (AL) ist. Entsprechende Konturen sind für die Referenzwerte gemäß der Empfehlung 1999/519/EG des Rates (durch RL gekennzeichnet) angegeben, die zur Bewertung der Exposition für besonders gefährdete Arbeitnehmer herangezogen werden können.

8 BERECHNUNG ODER MESSUNG VON EXPOSITIONEN

Die Bewertung der von elektromagnetischen Feldern ausgehenden Expositionen ist ein fachspezifisches Thema, und nur wenige Arbeitgeber dürften das entsprechende Fachwissen besitzen, um solche Bewertungen selbst durchzuführen. Die Alternative, für die Risikobewertung externe Fachleute zu beauftragen, ist in der Regel kostspielig. Deshalb müssen die Arbeitgeber diese Kosten gegen die Kosten für die Ergreifung einfacher Schutz- oder Präventionsmaßnahmen (siehe Kapitel 9) abwägen. Bei der Abwägung der verschiedenen Möglichkeiten sollte der Arbeitgeber bedenken, dass je nach Bewertungsergebnis ohnehin Schutz- oder Präventionsmaßnahmen ergriffen werden müssen. Wie bereits weiter oben in diesem Leitfaden dargelegt, nimmt die Stärke von Feldern mit zunehmendem Abstand zur Quelle rasch ab, sodass die Beschränkung des Zugangs zu Bereichen in unmittelbarer Nähe des Geräts eine kostengünstige und wirksame Maßnahme sein kann.

8.1 Anforderungen der EMF-Richtlinie

Die EMF-Richtlinie enthält die eindeutige Anforderung, dass Arbeitgeber die Gefährdung ihrer Arbeitnehmer bewerten müssen, die von elektromagnetischen Feldern am Arbeitsplatz ausgeht. Im Rahmen dieser Gefährdungsbeurteilung müssen die Arbeitgeber die elektromagnetischen Felder am Arbeitsplatz ermitteln und bewerten. Jedoch beinhaltet diese Pflicht nicht, dass die Arbeitgeber Berechnungen oder Messungen durchführen müssen, da sie berechtigt sind, die von den Geräteherstellern oder -vertreibern bereitgestellten Emissions- oder anderen sicherheitsbezogenen Daten zu verwenden. Nur wenn die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte mit anderen Mitteln nicht zuverlässig nachgewiesen werden kann, müssen die Arbeitgeber Berechnungen und Messungen anstellen.

Wenn vom Hersteller expositionsbezogene Daten oder Risikobewertungen zur Verfügung gestellt werden, ist dies in der Regel eine einfachere und kostengünstigere Methode für den Nachweis der Konformität. Sind maßgebliche allgemeine Bewertungsdaten seitens Regierungsstellen, Berufsgenossenschaften oder Handelsverbänden verfügbar, werden es die Arbeitgeber gleichermaßen als einfacher erachten, diese zu verwenden, statt selbst Expositionsbewertungen durchzuführen. Weitere Informationen zu diesen beiden Möglichkeiten enthält Kapitel 7.

8.2 Arbeitsplatzbewertungen

Kommt der Arbeitgeber zu dem Schluss, dass eine Expositionsbewertung für den Arbeitsplatz erforderlich ist, stehen häufig zahlreiche Möglichkeiten zur Verfügung. Zunächst ist zu bestimmen, ob die Exposition mittels Berechnung oder Messung bewertet werden soll. Beides sind anerkannte Methoden, um die Einhaltung der in der EMF-Richtlinie angegebenen zulässigen Werte nachzuweisen, und beide Methoden können verschiedene Optionen beinhalten, die sich in ihrer Komplexität unterscheiden.

Einfache Bewertungsmethoden basieren häufig auf Annahmen oder Näherungen, die eine zu hohe Einschätzung der Expositionen zur Folge haben. Infolgedessen führen komplexere Methoden sehr wahrscheinlich zu kleineren Konformitätsabständen, erfordern aber mit ziemlicher Sicherheit mehr Zeit und Geld. Die Entscheidung für eine Methode bestimmt sich letztendlich durch die besonderen Umstände der Arbeitstätigkeit und des Arbeitsplatzes. Für viele Arbeitgeber ist jedoch eine relativ einfache Bewertung vollkommen ausreichend.

Bewertungen der durch elektromagnetische Felder hervorgerufenen Exposition sind häufig komplex. Deshalb müssen Arbeitgeber, die eine eigene Bewertung der Expositionen erwägen, die Kompetenz der diese Bewertung durchführenden Personen berücksichtigen. Nur wenige Arbeitgeber dürften über das notwendige Wissen und Know-how innerhalb des eigenen Unternehmens verfügen, und für die meisten stellt der Erwerb dieses Know-hows eine erhebliche Investition dar.

Bewertungen auf der Grundlage von Messungen dürften zusätzliche Investitionen in die notwendigen Messinstrumente und die erforderliche kontinuierliche Kalibrierung dieser Instrumente mit sich bringen. Die Personen, die die Bewertung durchführen, müssen die geforderte technische Leistungsfähigkeit der Instrumente verstehen, damit gewährleistet ist, dass geeignete Instrumente erworben werden. Außerdem müssen sie wissen, wie die Instrumente in der Praxis eingesetzt werden, und sie müssen sich der Fallstricke bewusst sein. Darüber hinaus müssen sie erkennen, dass Messungen eine Momentaufnahme darstellen, die von den Betriebsparametern des Geräts zum Zeitpunkt der Überprüfung abhängt. Wenn Bewertungen nur selten durchgeführt werden müssen, ist es unter Umständen kostengünstiger, entsprechende Instrumente von einem renommierten Anbieter zu mieten.

Und nicht zuletzt ist die Erkenntnis wichtig, dass eine Bewertung nicht einfach in der Messung der Felder besteht. Die Bewertung der Art der durchgeführten Tätigkeit ist ebenfalls von Belang, damit die Standorte der Arbeitnehmer bestimmt werden können. Bei Frequenzen, für die eine zeitliche Mittelung zulässig ist, müssen ebenfalls die Arbeitszyklen des Geräts erfasst und die Dauer der Belegung der Bereiche eingeschätzt werden.

8.3 Sonderfälle

Es gibt eine Reihe von Situationen, in denen Expositionen ungewöhnlich komplex sein können. Auf einige dieser Situationen wird in Anhang D näher eingegangen (siehe Tabelle 8.1).

Tabelle 8.1 Weitere Informationen zu komplexen Expositionsbewertungen

Bewertungsszenario	Anhang
Ungleichmäßige Exposition	D2
Exposition gegenüber Feldern mit Frequenzen zwischen 100 kHz und 10 MHz	D3
Gleichzeitige Exposition gegenüber mehreren Frequenzkomponenten	D3
Exposition gegenüber nicht sinusförmigen Feldern	D3
Bewertung von Feldern mit Frequenzen zwischen 0 Hz und 1 Hz	D4

8.4 Einholen weiterer Unterstützung

Wenn Arbeitgeber nicht bereits das Know-how und, im Fall von Messungen, die für die Durchführung der Bewertungen erforderlichen Instrumente besitzen, kommen erhebliche Investitionen auf sie zu. Für einige Arbeitgeber können diese Investitionen lohnenswert sein, für die meisten jedoch nicht.

Arbeitgeber, die externe Unterstützung einholen möchten, sollten bedenken, dass hierfür zahlreiche Stellen zur Verfügung stehen. Die folgenden Organisationen verfügen unter Umständen über das notwendige Fachwissen und die erforderlichen Instrumente, um Unterstützung zu leisten:

- nationale Einrichtungen für Sicherheit und Gesundheitsschutz;
- einige lokale oder nationale Behörden bieten Arbeitgebern in ihrem Gebiet kostengünstige Bewertungsdienstleistungen an;

- Forschungseinrichtungen (z. B. Universitäten);
- Hersteller von Messinstrumenten oder ihre Händler;
- fachspezifische Wirtschaftsberatungen.

Wenn sich Arbeitgeber an externe Anbieter wenden, möchten sie sichergehen, dass der betreffende Anbieter über die entsprechende Qualifikation zur Erbringung der erforderlichen Dienstleistung verfügt. Arbeitgeber sollten vom Leistungserbringer den Nachweis verlangen, dass er:

- Personal bereitstellt, das das entsprechende Know-how besitzt und Erfahrung in der Anwendung der maßgeblichen Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen und der erforderlichen Berechnungsmethoden mitbringt;
- Personal bereitstellt, das das entsprechende Know-how sowie Erfahrung mit der Art der benötigten Bewertung besitzt;
- Instrumente einsetzt, mit denen die maßgeblichen Felder gemessen werden können, wobei Faktoren wie Frequenzkomponenten, Impulskennlinien und Wellenformen zu berücksichtigen sind;
- die Nachverfolgbarkeit der Kalibration gemäß einer geeigneten nationalen Norm nachweisen kann;
- die Unsicherheit einer jeden durchgeführten Messung einschätzen kann.

Der Arbeitgeber ist darauf angewiesen, dass der externe Leistungserbringer die geeigneten Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerte wählt und Daten generiert, die sich für einen Vergleich eignen. Leistungserbringer müssen über ein Qualitätssicherungssystem verfügen, damit sie die Zuverlässigkeit der Daten gewährleisten können. Außerdem müssen sie dem Arbeitgeber einen schriftlichen Bericht vorlegen, in dem die Bedeutung der Bewertung erläutert wird und eindeutige Schlussfolgerungen dargelegt werden. Gegebenenfalls sollte der Bericht Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise enthalten.



Wichtig: Messung oder Berechnung von Expositionen

Die Bewertung von Expositionen mittels Messungen oder Berechnungen ist in der Regel komplex und sollte vermieden werden, wenn Informationen aus anderen Quellen wie Herstellern oder Datenbanken verfügbar sind. Falls eine Expositionsbewertung erforderlich ist, sollten Arbeitgeber sorgfältig abwägen, ob sie in der Lage sind, diese selbst durchzuführen.

Für viele Arbeitgeber dürfte es kostengünstiger sein, externe Unterstützung einzuholen. In diesem Fall möchten sie jedoch sichergehen, dass der Leistungserbringer über die geeigneten Instrumente, das entsprechende Know-how und die entsprechende Erfahrung für die Durchführung der Bewertung verfügt.

Abschnitt 4

SIND WEITERE MASSNAHMEN NOTWENDIG?

9 SCHUTZ- UND PRÄVENTIONSMASSNAHMEN

Die Wahl geeigneter Schutz- und Präventionsmaßnahmen für bestimmte Situationen sollte sich am Ergebnis der Risikobewertung orientieren, da hierdurch Informationen erhalten werden, in welcher Form gefährliche Expositionen auftreten können. Außerdem ist bei der Wahl der Maßnahmen zur Beherrschung von Risiken die Art der Arbeitstätigkeiten zu berücksichtigen.

Wie bereits in Kapitel 6 ausgeführt wurde, müssen keine weiteren Maßnahmen ergriffen werden, wenn der Arbeitgeber nachweisen kann, dass die Auslöseschwellen oder die Expositionsgrenzwerte nicht überschritten werden und keine wesentlichen Risiken infolge indirekter Auswirkungen oder für besonders gefährdete Arbeitnehmer bestehen.

Wenn Bereiche vorhanden sind, in denen die Gefahr besteht, dass die Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerte überschritten werden oder indirekte Auswirkungen auftreten, muss der Arbeitgeber feststellen, ob der Bereich zugänglich ist, während die Felder auftreten. Ist der Zugang zu dem betreffenden Bereich bereits aus anderen Gründen (z. B. wegen hoher Spannungen) ausreichend beschränkt, sind in der Regel keine weiteren Maßnahmen erforderlich. Andernfalls muss der Arbeitgeber normalerweise zusätzliche Maßnahmen ergreifen.

Nach Umsetzung zusätzlicher Schutz- oder Präventionsmaßnahmen sollten die entsprechenden Aspekte der Risikobewertung überprüft werden, um sicherzugehen, dass nun alle Risiken ausgeschlossen oder auf ein Mindestmaß reduziert wurden.

Wenn Schutz- oder Präventionsmaßnahmen bereits während der Planung und Einrichtung von Arbeitsplätzen oder Arbeitsmitteln ergriffen werden, kann dies generell deutliche Vorteile im Hinblick auf die Sicherheit und den Betrieb bringen. Die spätere Umsetzung solcher Maßnahmen ist in der Regel mit erheblichen Kosten verbunden.

9.1 Grundsätze der Gefahrenverhütung

Für den Fall, dass Schutz- und Präventionsmaßnahmen ergriffen werden müssen, sind in Artikel 6 der Rahmenrichtlinie die Grundsätze der Gefahrenverhütung festgelegt, die für alle Risiken gelten (siehe Tabelle 9.1).

Tabelle 9.1 Grundsätze der Gefahrenverhütung gemäß der Rahmenrichtlinie

Grundsätze der Gefahrenverhütung:

Vermeidung von Risiken

Abschätzung nicht vermeidbarer Risiken

Gefahrenbekämpfung an der Quelle

Berücksichtigung des Faktors „Mensch“ bei der Arbeit, insbesondere bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen sowie bei der Auswahl von Arbeitsmitteln und Arbeits- und Fertigungsverfahren

Berücksichtigung des Stands der Technik

Ausschaltung oder Verringerung von Gefahrenmomenten

Planung der Risikoprävention mit dem Ziel einer kohärenten Verknüpfung von Technik, Arbeitsorganisation, Arbeitsbedingungen, sozialen Beziehungen und Einfluss der Umwelt auf den Arbeitsplatz

Vorrang des kollektiven Gefahrenschutzes vor individuellem Gefahrenschutz

Erteilung geeigneter Anweisungen an die Arbeitnehmer

9.2 Ausschluss von Gefahren

Die wirksamste Methode zur Beherrschung von Risiken besteht darin, die Gefahr vollständig auszuschließen. Dies kann die Umstellung auf ein alternatives Verfahren bedeuten, bei dem keine starken elektromagnetischen Felder erzeugt werden. Ein Beispiel dafür ist die Umstellung von Widerstandsschweißtechnik auf Laserschweißtechnik. Allerdings sind solche Umstellungen nicht immer durchführbar. Häufig gibt es kein geeignetes alternatives Verfahren, oder die verfügbaren Alternativen können andere Gefahren beinhalten (im oben genannten Beispiel die Entstehung eines Laserstrahls hoher Leistung), die für die Arbeitnehmer ein vergleichbares oder sogar noch höheres Risiko darstellen.

Der Ausschluss von Gefahren bedeutet häufig die Umgestaltung eines gesamten Verfahrens und erhebliche Investitionen in neue Ausrüstung. Daher sind solche Veränderungen in vielen Fällen nur während der anfänglichen Einrichtung von Arbeitsplätzen oder im Rahmen einer größeren Umrüstung realisierbar. Jedoch sollten in diesen Fällen alternative Methoden erwogen werden, um dieselbe Zielsetzung ohne die Erzeugung starker elektromagnetischer Felder zu erreichen.

9.3 Ersatz durch weniger gefährliche Verfahren oder Arbeitsmittel

Eine wirksame Lösung zur Verringerung der Gefährdung durch elektromagnetische Felder besteht darin, bestehende Verfahren oder Arbeitsmittel durch solche zu ersetzen, die elektromagnetische Felder in geringerem Umfang erzeugen. Beispielsweise kann dielektrisches Schweißen von Kunststoffen in seiner einfachsten Form eine hohe Exposition des Bedieners gegenüber abgestrahlten hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und sogar die Gefahr von Verbrennungen beim Berühren der freiliegenden Elektroden zur Folge haben. Normalerweise kann das Gerät mit einer integrierten Abschirmung konstruiert werden, um die Stärke des Strahlungsfeldes zu begrenzen, häufig in Kombination mit einer Automatisierung des Vorgangs, um den Abstand zwischen dem Bediener und den Elektroden zu vergrößern.

Der Austausch einer bestehenden Anlage durch eine stärker automatisierte und besser abgeschirmte Anlage verbessert für gewöhnlich die Wirksamkeit des Verfahrens, bringt jedoch erhebliche Kosten mit sich. Daher dürfte diese Option nur im Rahmen des regulären Austauschzyklus von Arbeitsmitteln interessant sein.



Wichtig: Maßnahmen zur Verringerung von Risiken

Wenn Risiken nicht durch den Ausschluss von Gefahren oder die Ersetzung bestehender Verfahren oder Arbeitsmittel durch weniger gefährliche Alternativen verringert werden können, müssen zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden. Hierzu hat der Arbeitgeber zahlreiche Optionen. Generell ist technischen und organisatorischen Maßnahmen der Vorzug zu geben, da sie kollektiven Schutz bieten. Viele der Maßnahmen, die zur Verringerung der durch elektromagnetische Felder verursachten Risiken ergriffen werden können, entsprechen Maßnahmen, mit denen andere Gefahren am Arbeitsplatz eingedämmt werden.

9.4 Technische Maßnahmen

Technische Maßnahmen, sofern realisierbar, haben den Vorteil, dass sie kollektiven Schutz bieten und die Gefahr normalerweise an der Quelle bekämpfen. Darüber hinaus sind sie im Allgemeinen zuverlässiger als organisatorische Maßnahmen, da sie nicht vom menschlichen Verhalten abhängen. Es gibt eine Reihe technischer Maßnahmen, mit denen sich die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern wirksam verhindern oder begrenzen lässt. Diese werden in den folgenden Abschnitten näher beleuchtet.

9.4.1 Abschirmungen

Abschirmungen können ein wirksames Mittel zur Verringerung der von einer Quelle erzeugten elektromagnetischen Felder sein. Sie werden häufig bereits bei der Konstruktion des Geräts integriert, um Emissionen von vornherein zu begrenzen. Ein gutes Beispiel hierfür ist ein Mikrowellengerät. Ein mit dem Metallgehäuse des Geräts verbundenes Geflecht im Sichtfenster stellt eine durchgängige Abschirmung dar, welche die Emission von Mikrowellenstrahlung begrenzt. Auch Räume können abgeschirmt werden, um ein schwaches elektromagnetisches Umfeld zu erzeugen. Allerdings wird diese Form der Abschirmung eher zum Schutz empfindlicher elektronischer Geräte als zum Schutz von Menschen eingesetzt.

In der Praxis beruhen Abschirmungen gegen hoch- und niederfrequente elektrische Felder darauf, die Quelle mit einer leitfähigen Oberfläche zu umschließen (Faradaykäfig). Hierfür kommt meist ein Metallblech oder ein Metallgeflecht zum Einsatz; es können aber auch andere Materialien wie Keramik, Kunststoff oder Glas mit einem oder mehreren metallischen Überzügen oder einem integrierten Metallgeflecht verwendet werden. Letzteres wird häufig für Sichtfenster eingesetzt, wenn die Beobachtung des Prozesses notwendig ist. Ist ein Luftstrom erforderlich, beispielsweise zur Kühlung, wird die Abschirmung normalerweise durch Metallgeflechte oder wabenförmige Materialien realisiert.

Damit eine Abschirmung wirksam ist, muss sichergestellt sein, dass sie durchgängig ist. Lücken oder Fugen müssen wesentlich kleiner sein als die Wellenlänge (siehe Anhang A) des elektromagnetischen Feldes. Aus diesem Grund werden Platten, die Teil einer Abschirmung sind, mit Schrauben oder Bolzen befestigt, die in einem geringen Abstand zueinander angeordnet sind. Muss eine Platte entfernt werden, sind bei ihrer Wiederanbringung auch alle Befestigungselemente wieder zu montieren, um Lecks auf ein Minimum zu reduzieren. Türen und Zugangsklappen sind üblicherweise mit einer umlaufenden Kontaktleiste versehen. Neben der Durchgängigkeit einer Abschirmung hängt ihre Wirksamkeit vom verwendeten Material, ihrer Dicke, ihrer Form und der Frequenz des Feldes ab.

Kabel und andere für die Übertragung hochfrequenter Felder verwendete Wellenleiter sind standardmäßig abgeschirmt. Der vorrangige Grund ist, eine Abstrahlung der Hochfrequenzenergie zu verhindern, die große Verluste zur Folge hätte. Die Abschirmung dient aber auch zur Begrenzung der Stärke von Umgebungsfeldern. Wenn eine Abschirmung nicht mehr intakt ist, kann dies Lecks verursachen. Daher ist auf eine mögliche Beschädigung von Bögen oder Verbindungspunkten zu achten.

Eine Abschirmung gegen statische und niederfrequente (unter etwa 100 kHz) Magnetfelder ist schwieriger. Diese Felder können mittels spezieller Metalllegierungen wie Mu-Metall abgeschirmt werden. Jedoch gibt es zahlreiche Einschränkungen, und daher beschränkt sich die Anwendung dieser Abschirmungen auf Spezialfälle.

Eine passive Abschirmung magnetischer Felder ist schwierig. Stattdessen wird häufig eine aktive Abschirmung verwendet, insbesondere für statische Felder (siehe Fallstudie zur Kernspinresonanzspektroskopie in Band 2 dieses Leitfadens). Bei der aktiven Abschirmung wird eine zusätzliche Spule, normalerweise ein Solenoid, verwendet, um ein entgegengerichtetes Magnetfeld zu erzeugen. Die Aufhebung der beiden Felder bewirkt eine schnelle Abnahme der magnetischen Flussdichte mit zunehmendem Abstand zur Quelle.

9.4.2 Schutzeinrichtungen

Schutzeinrichtungen können ein kostengünstiges und wirksames Mittel sein, um den Zugang zu Bereichen mit starken Feldern zu beschränken. Wie in Kapitel 3 bereits festgestellt, nimmt die Feldstärke mit zunehmendem Abstand zur Feldquelle rasch ab. Deshalb sind Schutzeinrichtungen zur Beschränkung des Zugangs zu Bereichen in unmittelbarer Nähe der Quelle oft eine praktikable Lösung. Wenn die für die

Konstruktion und Installation von Maschinenschutzeinrichtungen zuständigen Personen die Feldverteilung kennen, dürften sie in der Lage sein, eine wirksame Lösung zu implementieren.

Bei der Installation von Schutzeinrichtungen innerhalb von starken Feldern ist die Kopplung des Feldes mit dem Material der Schutzeinrichtung zu bedenken. Deshalb kann die Verwendung nichtmetallischer Materialien angeraten sein, beispielsweise Kunststoffabsperungen bei Kernspinresonanzspektrometern mit starken statischen Magnetfeldern. Des Weiteren müssen bei der Installation von metallischen Schutzeinrichtungen Funkenentladungen und Kontaktströme bedacht und somit ein entsprechender Potenzialausgleich vorgesehen werden (Abschnitte 9.4.7 und 9.4.8).

Wenn während des normalen Betriebs kein Zugang zum Sperrbereich notwendig ist, sind fest stehende Schutzeinrichtungen häufig die einfachste und kostengünstigste Lösung. Fest stehende Schutzeinrichtungen sind dergestalt montiert, dass sie nur mithilfe von Werkzeugen abgenommen werden können.

Da zum Lösen oder Abnehmen fest stehender Schutzeinrichtungen Werkzeuge benötigt werden, eignen sie sich nicht für Bereiche, die häufig zugänglich sein müssen. In diesem Fall kann eine bewegliche Schutzeinrichtung eine akzeptable Lösung sein. Eine solche Schutzeinrichtung weist normalerweise eine mit der Feldquelle gekoppelte Verriegelungseinrichtung auf. Im Falle einer relativ geringen Gefährdung kann auch eine Schutzeinrichtung ohne Verriegelung verwendet werden (Abbildung 9.1).

Abbildung 9.1 Beispiel für eine einfache bewegliche Schutzeinrichtung zur Beschränkung des Zugangs zu einem starken Magnetfeld. In diesem Fall weist die Schutzeinrichtung keine Verriegelung auf, wird jedoch durch Warnzeichen und organisatorische Maßnahmen ergänzt



Wenn starke Felder nur über fest stehende Steigleitern zugänglich sind, beispielsweise bei auf einem Dach installierten Hochleistungsantennen (siehe Fallstudie zu Dachantennen in Band 2 des vorliegenden Leitfadens), kann eine Leiter-Schutzeinrichtung eine kostengünstige und wirksame Methode zur Beschränkung des Zugangs sein (Abbildung 9.2).

Abbildung 9.2 Verwendung einer Leiter-Schutzeinrichtung zur Beschränkung des Zugangs zu starken Feldern auf einem Dach



9.4.3 Verriegelungseinrichtungen

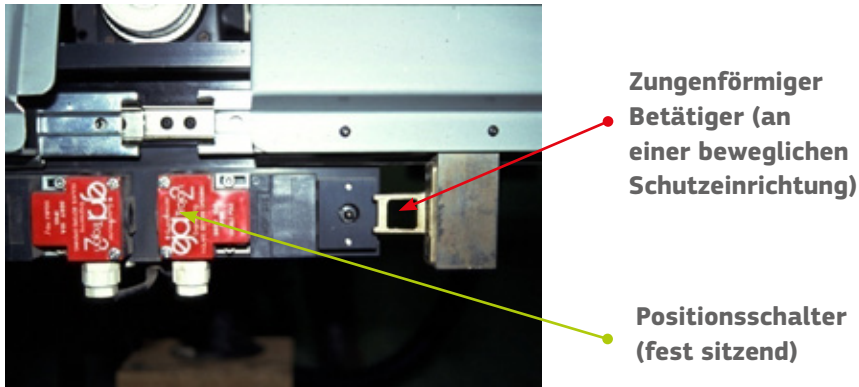
Werden bewegliche Schutzeinrichtungen zur Beschränkung des Zugangs zu starken Feldern verwendet, sollte die Schutzeinrichtung eine mit der Quelle des elektromagnetischen Feldes gekoppelte Verriegelungseinrichtung aufweisen. Die Verriegelungseinrichtung überwacht die Position der Schutzeinrichtung und verhindert die Erzeugung elektromagnetischer Felder, wenn die Schutzeinrichtung sich nicht in vollständig geschlossener Position befindet.

Es sind vielfältige Arten von Verriegelungseinrichtungen verfügbar, die jeweils bestimmte Vor- und Nachteile haben (siehe Tabelle 9.2). Die Wahl einer geeigneten Verriegelungseinrichtung hängt von den jeweiligen Umständen ab und sollte sich nach dem Ergebnis der Risikobewertung richten.

Tabelle 9.2 Beispiele für verschiedene Typen von Verriegelungseinrichtungen

Typ	Beschreibung	Beispiele
1	Mechanisch betätigter Schalter ohne Codierung	Drehnockenschalter an drehbaren Schutzeinrichtungen Linear verschiebbarer Nockenschalter, betätigt über die Schiene der verschiebbaren Schutzeinrichtung Innerhalb des Scharniers montierter Schalter
2	Mechanisch betätigter Schalter mit Codierung	Über eine Zunge betätigter Positionsschalter Schlüsseltransfersystem
3	Berührungsloser Positionsschalter ohne Codierung	Näherungsschalter basierend auf induktiver, magnetischer, kapazitiver, optischer Erfassung oder Erfassung mittels Ultraschall
4	Berührungsloser Positionsschalter mit Codierung	Näherungsschalter mit codierter magnetischer Erfassung Näherungsschalter mit codierter RFID-Erfassung

Abbildung 9.3 Über eine Zunge betätigter Positionsschalter, Beispiel für eine Verriegelungseinrichtung des Typs 2



Wenn starke elektromagnetische Felder vorhanden sind, ist die Gefahr zu berücksichtigen, dass die Funktion der Verriegelungseinrichtung und die zugehörigen Stromkreise durch diese Felder beeinflusst werden können. Bei mechanisch betätigten Einrichtungen besteht eine geringere Gefahr elektromagnetischer Störungen.

Verriegelungseinrichtungen sollten die entsprechenden europäischen Normen erfüllen, und es sollten Befestigungsmittel verwendet werden, die sich nur mithilfe von Werkzeugen lösen oder abnehmen lassen.

Da normalerweise davon auszugehen ist, dass beim Öffnen der Sicherheitseinrichtung die Erzeugung starker Felder sofort unterbrochen wird, ist eine Zuhaltung (die Sicherheitseinrichtung bleibt verriegelt, bis keine Gefahr mehr besteht) in der Regel nicht erforderlich.

9.4.4 Sensitive Schutzeinrichtungen

Ist die Installation fest stehender oder beweglicher Schutzeinrichtungen nicht praktikabel, können gegebenenfalls sensitive Schutzeinrichtungen verwendet werden. Hierzu zählen beispielsweise Lichtvorhänge, Abtastgeräte und Schalmatten. Solche Schutzeinrichtungen können erkennen, wenn eine Person einen Bereich mit starken Feldern betritt oder sich darin aufhält, und können das Gerät abschalten, von dem eine Gefährdung durch elektromagnetische Felder ausgeht.

Sensitive Schutzeinrichtungen nutzen vielfältige Erkennungstechnologien, die jeweils auf bestimmte Situationen abgestimmt sind. Zur Wahl eines geeigneten Systems sollten sich Arbeitgeber fachlich beraten lassen. Insbesondere sind die von starken elektromagnetischen Feldern ausgehenden Störungen zu berücksichtigen.

9.4.5 Zweihandschaltungen

Bei einer Zweihandschaltung (Abbildung 9.4) müssen Bedienelemente mit beiden Händen gleichzeitig betätigt werden. Dies kann hilfreich sein, um zu gewährleisten, dass sich der Bediener in einer bestimmten Position befindet oder seine Hände von Bereichen mit starken Feldern ferngehalten werden. Eine solche Vorrichtung bietet jedoch für andere Arbeitnehmer keinen Schutz.

Abbildung 9.4 Zweihandschaltung dient dazu, den Arbeitnehmer vom Induktionserwärmer fernzuhalten



9.4.6 Einrichtungen zum Stillsetzen im Notfall

Wenn Arbeitnehmer Zugang zu potenziell gefährlichen Umgebungen haben können, ist es wichtig, Einrichtungen zum Stillsetzen im Notfall vorzusehen. Die meisten Menschen kennen die roten Not-Aus-Schalter. Ein Not-Aus-Schalter muss schnell ansprechen, jeglichen Betrieb im betreffenden Bereich unterbrechen und einen Neustart erst nach der Rücksetzung erlauben.

Not-Aus-Schalter sollten in den betreffenden Bereichen in ausreichender Menge installiert werden, damit immer ein Schalter in Reichweite ist. Dabei darf natürlich kein gefährlicherer Bereich überquert werden müssen, um den Not-Aus-Schalter zu erreichen. Wenn große Bereiche abzudecken sind, ist die Verwendung von Seilzugschaltern häufig geeigneter.

9.4.7 Technische Maßnahmen zur Verhinderung von Funkenentladungen

In starken elektrischen Feldern können Funkenentladungen auftreten, wenn eine Person einen leitfähigen Gegenstand berührt, der ein unterschiedliches elektrisches Potenzial besitzt, da nur entweder die Person oder der Gegenstand geerdet ist. Funkenentladungen können verhindert werden, wenn sichergestellt ist, dass solche Potenzialdifferenzen nicht existieren. Dies lässt sich durch technische Maßnahmen erzielen, wie die Erdung leitfähiger Arbeitsgegenstände und den Schutz des Arbeitnehmers gegen elektrischen Schlag (Potenzialausgleich).

In der Praxis kann die umfassende Umsetzung solcher technischen Maßnahmen schwierig sein, da eine wirksame Erdung beweglicher Gegenstände problematisch ist. Somit müssen in der Regel technische Maßnahmen mit entsprechenden organisatorischen Maßnahmen, insbesondere die Unterweisung der Arbeitnehmer und möglicherweise die Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen, kombiniert werden.

9.4.8 Technische Maßnahmen zur Verhinderung von Kontaktströmen

Wenn eine Person in einem Hochfrequenzfeld mit einem leitfähigen Gegenstand in Berührung kommt und nur entweder die Person oder der Gegenstand geerdet ist, kann ein Hochfrequenzstrom durch die Person zum Boden fließen, was zu einem elektrischen Schlag oder Verbrennungen führen kann. Um solche Kontaktströme zu begrenzen, stehen zahlreiche Maßnahmen zur Verfügung. Durch die Verringerung von Streufeldern kann die Stärke des fließenden Hochfrequenzstroms reduziert werden, wobei weitere Verbesserungen durch Isolierung und Erdung erzielt werden. Und nicht zuletzt ist darauf hinzuweisen, dass organisatorische Maßnahmen, zum Beispiel die Entfernung unnötiger leitfähiger Gegenstände (vor allem größeren Umfangs), die Gefahr einer Berührung verringern.

9.5 Organisatorische Maßnahmen

Es gibt Situationen, in denen technische Maßnahmen nicht durchführbar sind, um die von elektromagnetischen Feldern ausgehende Gefährdung auf ein Mindestmaß zu reduzieren. In diesem Fall besteht der nächste Schritt darin, die Möglichkeit für die Ergreifung organisatorischer Maßnahmen zu untersuchen. Organisatorische Maßnahmen sollten weiterhin einen kollektiven Schutz bieten. Da sie aber normalerweise davon abhängen, dass die Menschen die Hinweise befolgen, sind sie nur so wirksam wie das Verhalten der betreffenden Personen. Dennoch spielen organisatorische Maßnahmen eine wichtige Rolle und können unter bestimmten Umständen, zum Beispiel während der Inbetriebnahme und Instandhaltung, die Hauptkontrollmaßnahme darstellen.

Die Wahl der organisatorischen Maßnahmen bestimmt sich durch die Art der Gefährdung sowie die Art der Arbeitstätigkeit. Entsprechende Maßnahmen können die Abgrenzung von Bereichen und Zugangsbeschränkungen, Zeichen, Signale und Aufschriften, die Benennung von Personen zur Überwachung der Bereiche oder Arbeitstätigkeiten sowie schriftlich festgelegte Verfahren umfassen.

9.5.1 Abgrenzung und Zugangsbeschränkung

In manchen Situationen ist die Beschränkung des Zugangs zu Bereichen mit starken Feldern unter Umständen nicht mithilfe technischer Maßnahmen wie Sicherheitseinrichtungen realisierbar. In diesen Fällen können verschiedene organisatorische Maßnahmen ergriffen werden, um die Bereiche abzugrenzen und zugangs- oder tätigkeitsbezogene Beschränkungen aufzuerlegen. Hierfür werden üblicherweise Warnzeichen und Sicherheitshinweise verwendet, um die Arbeitnehmer auf die Gefahren aufmerksam zu machen, oft in Kombination mit Bodenmarkierungen zur Kennzeichnung von Bereichen mit starken Feldern.

Tabelle 9.3 Beispiele für Zugangs- oder andere Beschränkungen, die für Bereiche mit starken elektromagnetischen Feldern erforderlich sein können

Kriterien	Beschränkungen
Nichtthermische Wirkungen Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen überschritten Hohe Auslöseschwelle überschritten Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen überschritten	Kein Zugang, während Felder vorhanden sind
Thermische Wirkungen Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen überschritten Auslöseschwelle für die Exposition überschritten Auslöseschwelle für induzierte Ströme durch Gliedmaßen überschritten	Zugangsbeschränkungen zur Begrenzung der zeitlich gemittelten Exposition
Expositionsgrenzwert für sensorische Wirkungen zeitweilig überschritten Niedrige Auslöseschwelle zeitweilig überschritten	Zugang auf unterwiesene Arbeitnehmer beschränkt Weitere Beschränkungen können gelten
Von starken elektromagnetischen Feldern ausgehende Projektilwirkung	Es dürfen keine ferromagnetischen Gegenstände in den Bereich gebracht werden
Risiken für besonders gefährdete Arbeitnehmer	Zugangsbeschränkung zu Bereichen mit starken Feldern Unterweisung für den Zugang zur Arbeitsstätte
Gefahr von Funkenentladungen infolge starker elektrischer Felder	Zugang auf unterwiesene Arbeitnehmer beschränkt
Gefahr von Kontaktströmen	Zugang auf unterwiesene Arbeitnehmer beschränkt Verbot unnötiger leitfähiger Gegenstände

Falls bereits Bodenmarkierungen zur Warnung vor anderen Gefahren oder zur Beschränkung des Zugangs vorhanden sind, können alternative Mittel zur Abgrenzung von Bereichen verwendet werden, beispielsweise Wandmarkierungen oder Anbringung von Plänen mit markierten Bereichen.

Treten elektromagnetische Felder nur während bestimmter Phasen des Gerätezyklus auf, kann eine Anzeige, wann die Felder vorhanden sind, mittels visueller (z. B. ein Leuchtsignal) oder akustischer (z. B. eine Sirene) Warnsignale hilfreich sein.

Ist der Zugang nur bestimmten Arbeitnehmern vorbehalten, muss ein Verfahren eingerichtet werden, um den Berechtigten offiziell Zugang zu gewähren.

Gegebenenfalls muss der Zugang nur zeitweilig beschränkt werden. Dies ist beispielsweise der Fall bei vorübergehend errichteten Anlagen oder während der Inbetriebnahme einer dauerhaft errichteten Anlage, bevor fest stehende Schutzeinrichtungen installiert wurden. In diesen Situationen ist es in der Regel zulässig, zeitweilige Sperren zu errichten, an denen für gewöhnlich Warnzeichen angebracht sind. Bei einem nur kurzzeitig auftretenden hohen Risiko können unter Umständen auch Arbeitnehmer abgestellt werden, um die Absperrung des Bereichs zu überwachen und sicherzustellen, dass niemand die Sperren überschreitet.

Abbildung 9.5 Zeitweilige Sperren und Warnzeichen zur Beschränkung des Zugangs zu starken Feldern, die von einer vorübergehend errichteten Anlage erzeugt werden



Besteht das Risiko der Entzündung einer entzündlichen Atmosphäre oder der Auslösung von elektrischen Zündvorrichtungen, ist es übliche Praxis, den Bereich abzugrenzen, von dem die Hauptgefahr ausgeht (entzündliche Atmosphäre oder elektrische Zündvorrichtung), und anschließend Beschränkungen für alle Entzündungs- oder Auslösequellen, einschließlich elektromagnetischer Felder, in diesem Bereich einzurichten.

9.5.2 Sicherheitszeichen und Sicherheitshinweise

Sicherheitszeichen und Sicherheitshinweise sind ein wichtiger Bestandteil organisatorischer Maßnahmen. Solche Zeichen und Hinweise sind nur wirksam, wenn sie klar und eindeutig sind. Für ihre optimale Sichtbarkeit sollten sie auf Augenhöhe angebracht werden, und die Art der Gefahr sollte klar angegeben sein. Beispiele für auf elektromagnetische Felder bezogene Piktogramme sind in den Abbildungen 9.6 bis 9.8 zusammen mit den zugehörigen Bedeutungen dargestellt. Für ein besseres Verständnis der Piktogramme wird allgemein empfohlen, einen Warnhinweis in Textform hinzuzufügen. Dies gilt vor allem für Gebotszeichen, die darauf hinweisen, dass isolierende oder leitfähige Schuhe oder Handschuhe getragen werden müssen.

Abbildung 9.6 Standardmäßige Warnzeichen, die häufig im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern angezeigt werden



Warnung vor magnetischem Feld



**Warnung vor
nichtionisierender Strahlung**

Abbildung 9.7 Standardmäßige Verbotsszeichen, die häufig im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern angezeigt werden



Kein Zutritt für Personen mit Herzschrittmachern oder implantierten Defibrillatoren



Kein Zutritt für Personen mit Implantaten aus Metall

Abbildung 9.8 Standardmäßige Gebotszeichen, die gegebenenfalls im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern angezeigt werden



Fußschutz benutzen



Handschutz benutzen



Augenschutz benutzen



Allgemeines Gebotszeichen

Wenn elektromagnetische Felder diskontinuierlich auftreten, sollten die Warnzeichen nur dann angezeigt werden, wenn das Feld vorhanden ist, andernfalls nicht. Praktisch ist das möglich, indem das Zeichen (an einem Haken oder in einer geschlitzten Halterung angebracht) auf eine neutrale Seite umgedreht wird, wenn die Gefahrensituation nicht mehr besteht.

Gängige Praxis ist, Warnschilder mit dem gleichen Piktogramm an jedem Gerät anzubringen, das elektromagnetische Felder erzeugt.

9.5.3 Schriftliche Verfahren

Wenn Risiken infolge elektromagnetischer Felder mithilfe organisatorischer Maßnahmen beherrscht werden müssen, sollten diese Maßnahmen in der Risikobewertung dokumentiert werden, damit allen die Anforderungen klar sind. Folgende Informationen sollten festgehalten werden:

- Beschreibung der Bereiche mit speziellen zugangs- oder tätigkeitsbezogenen Beschränkungen;
- Einzelheiten zu den Voraussetzungen für den Zugang zu einem Bereich oder die Ausführung einer bestimmten Tätigkeit;
- spezielle Unterweisung von Arbeitnehmern (z. B. erforderliche Unterweisung in Bezug auf die zeitweilige Überschreitung der niedrigen Auslöseschwelle);
- Namen der Personen, die befugt sind, Zutritt zu bestimmten Bereichen zu erhalten;
- Namen der Mitarbeiter, die für die Überwachung von Arbeitstätigkeiten oder für die Durchsetzung von Zugangsbeschränkungen verantwortlich sind;
- Ermittlung der Gruppen, die ausdrücklich von den betreffenden Bereichen fernzuhalten sind, wie besonders gefährdete Arbeitnehmer;
- Einzelheiten zu Vorkehrungen im Notfall, sofern zutreffend.

Kopien der schriftlichen Verfahren sollten zum Nachlesen in den Bereichen verfügbar sein, für die sie gelten, und sollten jeder möglicherweise betroffenen Person ausgehändigt werden.

9.5.4 Betriebliche Sicherheitsinformationen

Es ist übliche Praxis, Personen, die eine Betriebsstätte zum ersten Mal betreten, Sicherheitsinformationen zur Verfügung zu stellen oder einer Sicherheitsunterweisung zu unterziehen. Wurden in der Betriebsstätte Bereiche identifiziert, zu denen der Zugang beschränkt ist oder in denen bestimmte Tätigkeiten untersagt sind, ist es gute Praxis, diesbezügliche Erläuterungen in die betrieblichen Sicherheitsinformationen aufzunehmen.

Abbildung 9.9 Besuchern zur Verfügung gestellte betriebliche Sicherheitsinformationen sollten Erläuterungen zu sämtlichen zugangsbeschränkten Bereichen und zu den Risiken für besonders gefährdete Arbeitnehmer enthalten



Falls es Bereiche gibt, in denen Risiken für besonders gefährdete Arbeitnehmer bestehen können, ist die Hervorhebung dieser Tatsache besonders wichtig. Die ermittelten „Risikogruppen“ sollten genannt werden, und jede Person, die in eine dieser Gruppen fällt, sollte angewiesen werden, dies ihrem Gastgeber zur Kenntnis zu bringen.

Außerdem sollten Personen, die den besonders gefährdeten Gruppen angehören, darauf hingewiesen werden, auf weitere Warnzeichen zu achten.

9.5.5 Überwachung und Sicherheitsmanagement

Die Sicherheit im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern sollte innerhalb derselben Gesundheitsschutz- und Sicherheitsmanagementstruktur verwaltet werden wie andere potenziell gefährliche Tätigkeiten. Die organisatorischen Vorkehrungen können im Detail je nach Größe und Struktur der Organisation variieren.

Wenn aufgrund der Stärke der Felder ein spezielles Sicherheitsmanagement erforderlich ist, wird die Ernennung eines kompetenten Mitarbeiters empfohlen, der die Aufgabe hat, die alltäglichen Sicherheitsaspekte im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern zu überwachen.

9.5.6 Unterrichtung und Unterweisung

Artikel 6 der EMF-Richtlinie bezieht sich speziell auf die Unterrichtung und Unterweisung von Arbeitnehmern, die wahrscheinlich einer Gefährdung durch elektromagnetische Felder bei der Arbeit ausgesetzt sind. Die Informationsinhalte sind in Tabelle 9.4 aufgeführt.

Der Umfang der Unterrichtung und Unterweisung sollte im Verhältnis zu der von den elektromagnetischen Feldern am Arbeitsplatz ausgehenden Gefährdung stehen. Wenn sich bei einer ersten Bewertung (siehe Kapitel 3) herausgestellt hat, dass die Feldstärke der zugänglichen Felder so niedrig ist, dass keine weiteren Maßnahmen erforderlich sind, dürfte es ausreichen, diese Tatsache gegenüber den Arbeitnehmern zu versichern. Allerdings ist es auch in einer solchen Situation wichtig, Arbeitnehmer oder ihre Vertreter auf die Möglichkeit aufmerksam zu machen, dass für manche Arbeitnehmer ein besonderes Risiko bestehen kann. Arbeitnehmer, die in eine der ermittelten „Risikogruppen“ fallen, sollten aufgerufen werden, dies ihren Vorgesetzten mitzuteilen.

Tabelle 9.4 Inhalte der Unterrichtung und Unterweisung im Einklang mit der EMF-Richtlinie

Aufgrund der Anwendung der EMF-Richtlinie ergriffene Maßnahmen
Werte und Konzepte der Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen, die damit zusammenhängende Gefährdung und die getroffenen Präventionsmaßnahmen
Mögliche indirekte Auswirkungen einer Exposition
Ergebnisse der Bewertungen, Messungen oder Berechnungen der Expositionsniveaus gegenüber elektromagnetischen Feldern gemäß Artikel 4 der EMF-Richtlinie
Wie gesundheitsschädliche Wirkungen einer Exposition zu erkennen und wie sie zu melden sind
Möglicherweise auftretende vorübergehende Symptome und Empfindungen, die mit Wirkungen im zentralen oder peripheren Nervensystem verknüpft sind
Voraussetzungen, unter denen die Arbeitnehmer Anspruch auf eine Gesundheitsüberwachung haben
Sichere Arbeitsverfahren zur Minimierung der Gefährdung aufgrund der Exposition
Besonders gefährdete Arbeitnehmer

Wenn technische oder organisatorische Maßnahmen im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern ergriffen werden mussten, ist gewöhnlich eine formellere Unterweisung angebracht. Wurden Risiken durch technische Maßnahmen vollkommen ausgeschlossen oder auf ein Mindestmaß reduziert, sollte eine entsprechende kurze Sicherheitsunterweisung oder eine Mitarbeiterbesprechung vor Ort („Toolbox Talk“) genügen. Dadurch werden die Arbeitnehmer auf die Gefährdung aufmerksam gemacht, und ihnen werden die zu ihrem Schutz getroffenen Maßnahmen erläutert. Bei dieser Unterweisung sollte vor allem

darauf hingewiesen werden, dass es wichtig ist, dass die Arbeitnehmer alle offensichtlichen Mängel oder Defizite der Schutzmaßnahmen melden, damit Abhilfe geschaffen werden kann.

Bezieht sich die Beherrschung der Risiken infolge elektromagnetischer Felder auf eine wesentliche Komponente der organisatorischen Maßnahmen oder die Benutzung der persönlichen Schutzausrüstung, ist in der Regel eine formellere und ausführlichere Unterweisung notwendig.

Bei der Bestimmung, wie tief gehend oder weit gefasst die erforderliche Unterweisung sein und wie lange sie dauern soll, sollten Arbeitgeber die in Tabelle 9.5 aufgeführten Aspekte berücksichtigen. Wichtig ist, dass bei der Unterweisung die Gefährdung durch elektromagnetische Felder in die richtige Perspektive bezüglich anderer Risiken am Arbeitsplatz gerückt wird.

Tabelle 9.5 Aspekte, die bei der Festlegung des Umfangs der erforderlichen Unterweisung berücksichtigt werden sollten

Ergebnis der Risikobewertungen
Aktuelle Kenntnisse der Arbeitnehmer und ihr Bewusstsein für die Gefährdung durch elektromagnetische Felder
Grad der Einbeziehung der Arbeitnehmer in das auf elektromagnetische Felder bezogene Risikomanagement
Art der Arbeitsumwelt und ob diese konstant oder häufig Änderungen unterworfen ist
Ob es sich um eine Unterweisung neuer Arbeitnehmer oder eine auffrischende Unterweisung für die bestehende Belegschaft handelt

Sofern Risiken infolge von Funkenentladungen oder Kontaktströmen vorhanden sind, müssen diese Risiken bei der Unterweisung speziell genannt werden. Außerdem müssen die zur Verringerung der Risiken ergriffenen Maßnahmen erläutert werden, insbesondere wenn ein bestimmtes Handeln der Arbeitnehmer erforderlich ist.

Es ist sinnvoll, Unterweisungen zu dokumentieren.

9.5.7 Gestaltung und Auslegung der Arbeitsstätten und Arbeitsplätze

Die von elektromagnetischen Feldern ausgehende Gefährdung lässt sich häufig auf ein Mindestmaß reduzieren, wenn der Gestaltung und Auslegung der Arbeitsstätte allgemein sowie der einzelnen Arbeitsplätze etwas Aufmerksamkeit gewidmet wird. Oftmals fallen dabei nur geringe oder gar keine Kosten an.

Beispielsweise kann in vielen Fällen vermieden werden, dass Geräte, die starke Felder erzeugen, an allgemeinen Durchgängen oder in anderen stark frequentierten Bereichen aufgestellt werden. In jedem Fall sollte darauf geachtet werden, dass die Geräte so aufgestellt werden, dass der Zugang beschränkt werden kann, wenn die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte nicht gewährleistet ist.

Geräte, die starke Felder erzeugen, sollten so positioniert werden, dass besonders gefährdete Arbeitnehmer die für sie unter Umständen gefährlichen Felder nicht durchqueren müssen. Deshalb sollten sich solche Felder niemals bis in allgemeine Durchgänge oder in andere Bereiche hinein erstrecken, es sei denn, besonders gefährdete Arbeitnehmer können aus diesen Bereichen ferngehalten werden.

Bei der Auslegung ihrer Arbeitsstätte sollten Arbeitgeber sich stets vor Augen halten, dass Magnetfelder normalerweise nicht durch Trennwände abgeschwächt werden. Daher ist die Zugänglichkeit zu solchen Feldern in benachbarten Bereichen zu berücksichtigen. Dieser Aspekt wird in Bezug auf das Magnetpulverprüfgerät in der Fallstudie zur Konstruktionswerkstatt in Band 2 des vorliegenden Leitfadens veranschaulicht.

Die Auslegung von Arbeitsplätzen ist mitunter ebenfalls von Bedeutung. Im Beispiel in Abbildung 9.10 ist das Feld am Standort des Bedieners vor dem Punktschweißgerät schwächer als das Feld

seitlich des Geräts. Bei dieser Situation ist es somit wichtig, den Arbeitsplatz so auszulegen, dass der Bediener an der vorgesehenen Position sitzt oder steht (Abbildung 9.10). Außerdem müssen die Standorte von Arbeitnehmern berücksichtigt werden, die andere Tätigkeiten ausführen.

Abbildung 9.10 Beispiele guter und schlechter Praxis bei der Auslegung eines Arbeitsplatzes mit einem Punktschweißgerät und der Bestimmung des Standorts des Bedieners



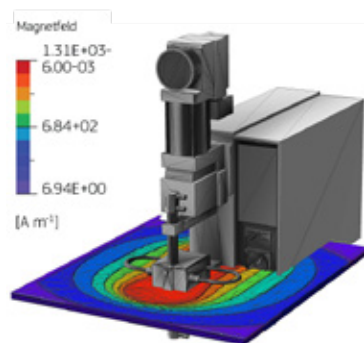
Gute Praxis:

Das Feld ist seitlich des Punktschweißgeräts stärker als vor dem Gerät. Bei dieser Auslegung steht der Arbeitnehmer zur Durchführung des Schweißvorgangs vor dem Gerät. Die Exposition des Arbeitnehmers ist demzufolge gering.



Schlechte Praxis:

Bei dieser Auslegung muss der Arbeitnehmer zur Durchführung des Schweißvorgangs seitlich des Geräts stehen. Dadurch ist seine Exposition höher.



Information:

Die Grafik zeigt, dass die Konturen des Magnetfeldes an den Seiten des Schweißgeräts weiträumiger sind.

9.5.8 Übernahme guter Arbeitspraktiken

Häufig können Arbeitnehmer die Erzeugung starker Felder oder ihre Exposition auf ein Minimum reduzieren, wenn sie ihre Arbeitspraktiken auf einfache Weise ändern. Wenn Speise- und Rückstrom beispielsweise durch separate Leiter fließen, sollten diese Leiter möglichst nahe zueinander angeordnet werden, sofern dies machbar ist. Dadurch ist das erzeugte Feld normalerweise erheblich schwächer, da sich bei entgegengesetztem Stromfluss die Felder gegenseitig aufheben.

Arbeitnehmer sollten darauf achten, dass Kabel möglichst in einem gewissen Abstand zu ihrem Körper verlaufen, insbesondere bei separaten Zu- und Rückleitungskabeln. In Abbildung 9.11 sind Beispiele guter und schlechter Praxis beim Schweißen dargestellt. Schweißkabel sind schwer und neigen dazu, die Bewegungen der Schweißpistole zu beeinträchtigen. Daher legen sich Schweißer das Kabel häufig über die Schulter oder sogar um den Nacken. Auf diese Weise befindet sich die Quelle des starken Feldes zwangsläufig in der Nähe des Gehirns und des Rückenmarks. Wird das Kabel durch andere Mittel gestützt, führt dies nicht nur zur Verringerung der Exposition, sondern auch zu einer ergonomischeren Haltung.

Abbildung 9.11 Beispiele guter und schlechter Praxis bei der Führung des Kabels beim Lichtbogenschweißen



Gute Praxis:

Das Kabel wird in einem gewissen Abstand zum Körper des Arbeitnehmers geführt. Dadurch ist die Exposition gegenüber dem Feld niedrig.

Zu- und Rückleitungskabel verlaufen so nahe wie möglich zueinander. Somit heben sich die Felder gegenseitig auf, und die Feldstärke in der Arbeitsumgebung verringert sich.



Schlechte Praxis:

In diesem Beispiel hat sich der Arbeitnehmer das Schweißkabel über die Schulter gelegt, um das schwere Kabel zu stützen. Auf diese Weise verläuft das Kabel nahe am Kopf und am Körper und erhöht dadurch die Exposition des Arbeitnehmers.

• Über die Schulter verlaufendes Kabel



Schlechte Praxis:

In diesem Beispiel hat sich der Arbeitnehmer das Schweißkabel um den Nacken gelegt, um das schwere Kabel zu stützen. Auf diese Weise verläuft das Kabel nahe am Kopf und am Körper und erhöht dadurch die Exposition des Arbeitnehmers.

• Um den Nacken gelegtes Kabel

Bei der Magnetpulverprüfung ist es übliche Praxis, den Vorgang mit einem Entmagnetisierungszyklus abzuschließen, bei dem ein stärkeres Anfangsfeld als während des Prüfzyklus erzeugt wird. Da sich der Prüfer während der Entmagnetisierung nicht in der Nähe des Werkstücks befinden muss, wie das beim Prüfzyklus der Fall ist, wäre es gute Praxis, wenn er während der Entmagnetisierung einen gewissen Abstand einnimmt.

In manchen Situationen wird zur Entmagnetisierung eine Entmagnetisierungsspule eingesetzt (siehe Fallstudie zur Konstruktionswerkstatt in Band 2 des vorliegenden Leitfadens). Diese Spulen verfügen in der Regel über einen Räderschlitten, auf den das Werkstück gesetzt wird. In diesem Fall lässt sich die Exposition des Bedieners auf ein Minimum reduzieren, indem Schiebestöcke verwendet werden, um den Schlitten mit dem Werkstück durch die Spule zu schieben.

9.5.9 Programme zur vorbeugenden Wartung

Geräte, die elektromagnetische Felder erzeugen, sollten einer regelmäßigen vorbeugenden Wartung und gegebenenfalls Inspektion unterzogen werden, um sicherzustellen, dass das Gerät stets effizient arbeitet. Eine entsprechende Wartung ist eine Anforderung der Arbeitsmittelrichtlinie (siehe Anhang G) und dient dazu, erhöhte Emissionen aufgrund einer beeinträchtigten Funktionsfähigkeit des Geräts auf ein Minimum zu begrenzen.

Auch die technischen Maßnahmen zur Begrenzung von Emissionen oder zur Beschränkung des Zugangs zu starken Feldern sollten Gegenstand einer kontinuierlichen Wartung, Inspektion und Überprüfung sein, damit gewährleistet ist, dass sie jederzeit in vollem Umfang wirksam sind.

Wie häufig solche Wartungen und Inspektionen durchgeführt werden, hängt von der Art des Geräts, seiner Nutzung und den Umgebungsbedingungen ab. Im Allgemeinen werden vom Gerätehersteller entsprechende Wartungsintervalle empfohlen, an denen man sich in den meisten Fällen guten Gewissens orientieren kann. Extreme Umgebungsbedingungen oder eine ungewöhnlich intensive Nutzung des Geräts können aber zu einem schnelleren Verschleiß führen. In diesen Fällen ist normalerweise eine häufigere Wartung und Inspektion notwendig.

9.5.10 Einschränkung der Bewegung in statischen Magnetfeldern

Bewegungen in starken statischen Magnetfeldern können niederfrequente elektrische Felder im Körper induzieren, die eine Reihe von Wirkungen hervorrufen können. Diese Wirkungen können gering gehalten werden, wenn das Ausmaß und die Geschwindigkeit der Bewegung innerhalb der Felder begrenzt werden. Das gilt insbesondere für die Bewegung bestimmter Körperteile wie beispielsweise die Drehung des Kopfes. Durch Schulung und/oder Übung können die Arbeitnehmer lernen, ihre Bewegungen einzuschränken, und so eventuelle Wirkungen möglichst gering halten.

9.5.11 Koordinierung und Kooperation zwischen Arbeitgebern

Wenn Arbeitnehmer von mehreren Arbeitgebern gemeinsam in derselben Arbeitsstätte arbeiten, sollte ein Informationsaustausch zwischen den Arbeitgebern stattfinden, damit alle Arbeitnehmer angemessen geschützt sind. Solche Situationen treten üblicherweise während der Installation, Inbetriebnahme und Instandhaltung von Arbeitsmitteln auf; aber auch andere Situationen sind denkbar. Beispielsweise vergeben viele Arbeitgeber unterstützende Funktionen wie Reinigungstätigkeiten, Gebäudeverwaltung, Lagerhaltung und Logistik, arbeitsmedizinische Tätigkeiten und IT-Dienstleistungen an externe Auftragnehmer.

Im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern sollte dieser Informationsaustausch Einzelheiten zu den Beschränkungen, die im Bedarfsfall für den Zugang zu oder für Tätigkeiten in einem bestimmten Bereich erforderlich sind, oder zu den Risiken für besonders gefährdete Arbeitnehmer umfassen. Die entsprechenden Beschränkungen sind zwischen den Arbeitgebern zu vereinbaren, und jeder Arbeitgeber sollte dafür sorgen, dass diese von seinen Arbeitnehmern beachtet werden.

9.6 Persönliche Schutzausrüstung

Die Grundsätze der Gefahrenverhütung gemäß der Rahmenrichtlinie (siehe Tabelle 9.1) besagen eindeutig, dass der kollektive Gefahrenschutz stets Vorrang vor individuellen Schutzmaßnahmen haben sollte. Manchmal ist es aber praktisch nicht möglich, mithilfe technischer oder organisatorischer Maßnahmen einen angemessenen kollektiven Schutz zu gewährleisten. In diesen Situationen müssen gegebenenfalls persönliche Schutzausrüstungen verwendet werden.

Wie bereits im Abschnitt über die technischen Maßnahmen dargelegt wurde, können elektrische Felder relativ einfach abgeschirmt werden, ein wirksamer Schutz gegen magnetische Felder ist jedoch schwieriger zu realisieren. Somit ist eine persönliche Schutzausrüstung nicht generell geeignet, um einen wirksamen Schutz vor Magnetfeldern zu gewährleisten. Die Wirksamkeit einer persönlichen Schutzausrüstung hängt von der Frequenz des Feldes ab. Daher ist es unwahrscheinlich, dass eine Schutzausrüstung, die sich für einen bestimmten Frequenzbereich eignet, auch für andere Frequenzbereiche geeignet ist.

Die Wahl der geeigneten Schutzausrüstung hängt von der speziellen Situation und der Art der Gefahr ab, die abgewendet werden soll. Somit können in verschiedenen Situationen isolierende oder leitfähige Schuhe, Stiefel oder Handschuhe jeweils zur Reduzierung der Risiken wirksam sein. Falls isolierendes Schuhwerk erforderlich ist, ist es für gewöhnlich angemessen, robuste Arbeitstiefel oder Schuhe mit dicken Gummisohlen zu beschaffen. Stellt sich infolge einer Bewertung heraus, dass solches Schuhwerk nicht angemessen ist, muss unter Umständen eine stärker spezialisierte Beschaffungsquelle für Sicherheitsausrüstung ausfindig gemacht werden.

Um die Augen vor hochfrequenten Feldern zu schützen, kann gegebenenfalls ein Augenschutz verwendet werden. Manche Situationen erfordern unter Umständen Vollschutzanzüge. Jedoch ist zu beachten, dass diese Schutzanzüge neue Risiken in sich bergen können, indem sie Bewegungen erschweren oder die Wärmeableitung vom Körper verhindern.

Persönliche Schutzausrüstungen sollten ordnungsgemäß gepflegt und regelmäßig inspiziert werden, damit sichergestellt ist, dass sie stets ihren Zweck erfüllen.

Zu bedenken ist, ob persönliche Schutzausrüstungen, die im Zusammenhang mit anderen Risiken zu tragen sind, sich in Verbindung mit starken elektromagnetischen Feldern eignen. Beispielsweise sind Sicherheitsschuhe mit Stahlkappen in einer Umgebung mit starken statischen Magnetfeldern nicht geeignet, und niederfrequente Magnetfelder bewirken, wenn sie stark genug sind, eine Erhitzung der Stahleinlage. In manche Schutzanzüge sind elektronische Komponenten integriert, wobei diese in starken Feldern Störungen ausgesetzt sein können. Ähnliche Probleme können bei einem aktiven Gehörschutz auftreten.

10 NOTFALLVORSORGE

Wenn Arbeitgeber Arbeitsmittel einsetzen oder Tätigkeiten ausführen lassen, bei denen Zwischenfälle auftreten können, sollten sie über Notfallpläne zur Beherrschung der Folgen verfügen. Zwischenfälle umfassen in diesem Zusammenhang Situationen, in denen Personen verletzt werden oder eine Erkrankung erleiden, sowie Beinaheunfälle oder unerwünschte Umstände. Zwischenfälle können auch Situationen einschließen, in denen ein Expositionsgrenzwert überschritten wurde, ohne dass Personen verletzt wurden (und keine anwendbare Ausnahme vorliegt). Ein Beispiel hierfür ist eine Situation, in der ein Antennenmonteur unabsichtlich in die Sperrzone eines Hochleistungssenders eindringt, bevor dieser abgeschaltet wurde.

Zwischenfälle können auch infolge indirekter Auswirkungen auftreten, zum Beispiel eine Störung bei einem implantierten medizinischen Gerät oder die Entzündung einer entzündlichen Atmosphäre. Ein weiteres Beispiel ist eine Situation, in der ein ferromagnetischer Gegenstand durch das starke statische Magnetfeld in die Öffnung eines NMR-Spektrometers eingezogen wird (die sogenannte „Projektilwirkung“).

Tabelle 10.1 In Notfallplänen zu berücksichtigende Szenarien

Notfallpläne sollten Handlungen und Zuständigkeiten in folgenden Situationen enthalten:
Tatsächliche Exposition eines Arbeitnehmers bei Überschreitung eines Expositionsgrenzwerts (keine anwendbare Ausnahme)
Tatsächlicher Zwischenfall infolge einer indirekten Auswirkung
Vermutliche Exposition eines Arbeitnehmers bei Überschreitung eines Expositionsgrenzwerts
Beinaheunfall oder unerwünschte Folge einer indirekten Auswirkung

10.1 Erstellung von Plänen

Die im Einklang mit Artikel 4 der EMF-Richtlinie durchgeführte Risikobewertung sollte den Arbeitgeber in die Lage versetzen, hinreichend vorhersehbare Zwischenfälle zu ermitteln (siehe Kapitel 5 dieses Leitfadens). Nachdem der Arbeitgeber solche potenziellen Zwischenfälle ermittelt und verstanden hat, welcher Art sie sein können, sollte es möglich sein, Pläne zur Beherrschung der Folgen zu erstellen. In manchen Fällen wurden vom Hersteller gegebenenfalls Notfallverfahren in die Gerätedokumentation aufgenommen. Diesen sollte Vorrang eingeräumt werden.

Die meisten Arbeitgeber verfügen bereits über allgemeine Notfallpläne, und potenzielle Zwischenfälle infolge elektromagnetischer Felder werden durch diese bestehenden Vorkehrungen möglicherweise abgedeckt. Notfallpläne können Vorkehrungen für Erste-Hilfe-Maßnahmen und anschließende ärztliche Untersuchungen enthalten (siehe Kapitel 11 dieses Leitfadens). Der Detaillierungsgrad und die Komplexität solcher Pläne hängen in jedem Fall vom Risiko ab. Generell hat es sich bewährt, Notfallpläne für den Ernstfall zu proben, damit Mängel ermittelt werden und der Ablauf stets frisch im Gedächtnis bleibt.

10.2 Reaktion auf Zwischenfälle

Die Reaktion auf einen Zwischenfall ist unweigerlich dynamisch und bedingt sich durch die Art und Schwere des Zwischenfalls. In Abbildung 10.1 ist der typische Ablauf der Ereignisse bei der Reaktion auf einen Zwischenfall dargestellt. Nicht alle aufgeführten Handlungen sind zwangsläufig für jeden Zwischenfall angemessen.

Der erste Zwischenfallbericht sollte zur Unterstützung der anschließenden Untersuchung möglichst viele Informationen enthalten, darunter normalerweise:

- eine Beschreibung der Art des Zwischenfalls;
- wie der Zwischenfall eingetreten ist;
- Angaben zu allen beteiligten Arbeitnehmern und ihrem jeweiligen Aufenthaltsort während des Zwischenfalls;
- Angaben zu etwaigen erlittenen Verletzungen;
- Eigenschaften der beteiligten EMF-Quelle:
 - Frequenz;
 - Leistung;
 - Betriebsströme und Betriebsspannungen;
 - Arbeitszyklus (sofern zutreffend).

Abbildung 10.1 Ablauf der Ereignisse bei einer typischen Reaktion auf einen Zwischenfall



Weitere Informationen zur Beherrschung versehentlicher Expositionen gegenüber Hochfrequenzfeldern enthält der Bericht des Finnischen Instituts für Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz (Finnish Institute of Occupational Health, Alanko et al. 2014). Dieser Bericht enthält im Anhang ebenfalls Vorlagen für einen ersten Zwischenfallbericht und einen technischen Bericht.

11 RISIKEN, SYMPTOME UND GESUNDHEITSÜBERWACHUNG

Artikel 8 der EMF-Richtlinie bezieht sich auf die Gesundheitsüberwachung von Arbeitnehmern, die gemäß den Anforderungen in Artikel 14 der Rahmenrichtlinie durchgeführt werden sollte. Die Regelungen für die Gesundheitsüberwachung im Hinblick auf elektromagnetische Felder können aller Wahrscheinlichkeit nach unter Anpassung der in den Mitgliedstaaten bereits eingerichteten Systeme festgelegt werden. Die Bereitstellung und Verfügbarkeit von Gesundheitsakten erfolgt im Einklang mit den nationalen Rechtsvorschriften und Praktiken.

11.1 Risiken und Symptome

Kapitel 2 enthält einen Überblick über die Wirkungen infolge der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern; die gesundheitlichen Wirkungen sind in Anhang B eingehender beschrieben. Expositionen über den Expositionsgrenzwerten können bei niederfrequenten Feldern Nervengewebe und Muskeln beeinträchtigen und bei hochfrequenten Feldern eine Erwärmung bewirken. Bei beiden Frequenzbereichen kann das Berühren metallischer Gegenstände einen elektrischen Schlag oder Verbrennungen zur Folge haben. Allgemein müssen die Felder oder Expositionen die Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerte aber erheblich überschreiten, damit körperliche Verletzungen auftreten. Außerdem beinhalten die Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerte Sicherheitstoleranzen, sodass eine einmalige, kurze Exposition, die den Grenzwert in geringem Maß überschreitet, normalerweise keine gesundheitsschädlichen Folgen hat.

11.1.1 Statische Magnetfelder (0 Hz bis 1 Hz) ⁽¹⁾

Statische Magnetfelder mit einer Flussdichte von mehr als 0,5 mT können Störungen bei aktiven implantierten medizinischen Geräten (wie Herzschrittmachern und Defibrillatoren) oder bei am Körper getragenen medizinischen Geräten (z. B. Insulinpumpen) verursachen. Solche Störungen können sehr ernste Folgen haben.

Expositionen gegenüber statischen Magnetfeldern, die die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen deutlich überschreiten, können die Durchblutung in Gliedmaßen und/oder die Herzfrequenz verändern. Diese Wirkungen sind derzeit noch nicht gut erforscht und stellen unter Umständen keine Gesundheitsgefährdung dar.

Die Anwesenheit oder Bewegung in starken statischen Magnetfeldern kann Schwindel, Übelkeit und andere sensorische Wirkungen verursachen. Außerdem können weniger offensichtliche Veränderungen auftreten, was Aufmerksamkeit, Konzentration oder andere geistige Funktionen anbelangt, die sich negativ auf die Arbeitsleistung und die Sicherheit auswirken können. Wenn der ganze Körper eine Exposition über 8 T erfährt oder in Situationen, in denen sich die Flussdichte rasch ändert, sind bei schnellen Bewegungen Nervenstimulationen und unwillkürliche Muskelkontraktionen möglich. Da diese Wirkungen reversibel sind, ist es unwahrscheinlich, dass die Symptome nach Beendigung der Exposition fortbestehen.

11.1.2 Niederfrequente Magnetfelder (1 Hz bis 10 MHz)

Die Exposition gegenüber niederfrequenten Feldern unterhalb der niedrigen Auslöseschwelle kann eine Störung der normalen Funktionsweise von aktiven implantierten medizinischen Geräten oder am Körper getragenen medizinischen Geräten bewirken. Jede Fehlfunktion kann ernste Folgen haben. Wenn ein Arbeitnehmer passive metallische Implantate trägt, können im Körper lokale Bereiche mit stärkeren

⁽¹⁾ Aus wissenschaftlicher Sicht haben statische Magnetfelder eine Frequenz von 0 Hz. Für die Zwecke der EMF-Richtlinie wurde eine Frequenz von 0 Hz bis 1 Hz für statische Magnetfelder festgelegt.

elektrischen Feldern vorhanden sein, und das Implantat kann sich induktiv erwärmen, was zu einer thermischen Schädigung des umliegenden Gewebes führen kann.

Wenn ein Arbeitnehmer berichtet, dass er undeutliche, flackernde Bilder (Phosphene) sieht, die unter Umständen ablenkend oder störend sind, kann dies ein erstes Anzeichen einer zu hohen Exposition sein. Die maximale Empfindung tritt jedoch bei 16 Hz ein, und es sind sehr hohe Feldstärken erforderlich – weit über den normalerweise bei Arbeitnehmern anzutreffenden Werten –, damit Phosphene bei anderen Frequenzen auftreten. Des Weiteren können Arbeitnehmer Schwindel oder Übelkeit empfinden, und während der Exposition können sich geringfügige Veränderungen beim Denk-, Problemlösungs- und Entscheidungsvermögen einstellen, welche die Arbeitsleistung und die Sicherheit beeinträchtigen. Wie bei der Exposition gegenüber statischen Magnetfeldern sind diese Wirkungen reversibel, sodass sie nach Beendigung der Exposition höchstwahrscheinlich nicht mehr fortbestehen.

Außerdem sind Nervenstimulationen möglich, die zu Kribbeln oder Schmerzen führen können, sowie unkontrollierte Zuckungen oder andere Muskelkontraktionen. Sehr starke externe Felder können sich auch auf das Herz auswirken und unter Umständen Herzrhythmusstörungen verursachen. In der Praxis treten diese Wirkungen in der Regel nur bei Feldstärken auf, die deutlich über den üblicherweise an Arbeitsplätzen anzutreffenden Werten liegen.

Bei Expositionen im oberen Ende dieses Frequenzbereichs sind zudem Wärmewirkungen möglich (siehe Abschnitt 11.1.4).

11.1.3 Niederfrequente elektrische Felder (1 Hz bis 10 MHz)

Niederfrequente elektrische Felder können ähnliche Wirkungen bei Nervengewebe und Muskeln hervorrufen wie Magnetfelder. Erste Anzeichen für starke elektrische Felder sind unter anderem, wenn sich die feinen Körperhaare aufstellen oder vibrieren und wenn Arbeitnehmer beim Berühren ungeerdeter, leitfähiger Gegenstände innerhalb des Feldes einen elektrischen Schlag erhalten. Vibrationen der Körperhaare können ablenkend oder störend sein, und elektrische Schläge sind je nach Intensität des Feldes unter Umständen irritierend, unangenehm oder schmerzhaft. Außerdem können beim Berühren von Gegenständen in starken elektrischen Feldern Verbrennungen entstehen.

11.1.4 Hochfrequente Felder (100 kHz bis 300 GHz)

Die Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern unterhalb der entsprechenden Auslöseschwelle kann eine Störung der normalen Funktionsweise von aktiven implantierten medizinischen Geräten oder am Körper getragenen medizinischen Geräten bewirken. Jede Fehlfunktion kann ernste Folgen haben. Passive medizinische Implantate aus Metall können als absorbierende Antennen wirken, was zu einem lokalen Anstieg der Hochfrequenzexposition von Gewebe und damit zu möglichen Verletzungen führen kann.

Erstes Anzeichen für eine Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern ist unter Umständen ein Wärmegefühl, das der Arbeitnehmer empfindet, wenn sich sein Körper oder Teile seines Körpers infolge des Feldes erwärmen. Eine solche Wirkung tritt nicht immer ein, und ein Wärmegefühl ist kein zuverlässiges Warnsignal. Außerdem können gepulste Felder zwischen 300 kHz und 6 GHz „gehört“ werden. Somit können exponierte Arbeitnehmer klickende, summende oder zischende Geräusche wahrnehmen.

Bei einer längeren Exposition des ganzen Körpers kann sich die Körpertemperatur erhöhen. Eine um nur wenige Grade erhöhte Körpertemperatur kann zu geistiger Verwirrung, Müdigkeit, Kopfschmerzen oder anderen Symptomen einer Wärmebelastung führen. Die Wahrscheinlichkeit dieser Wirkungen erhöht sich, wenn die körperliche Arbeitsbelastung hoch ist oder der Arbeitnehmer in einer heißen und feuchten Umgebung arbeitet. Darüber hinaus hängt die Schwere dieser Symptome von der körperlichen Verfassung des Arbeitnehmers (ob er beispielsweise dehydriert ist) oder der von ihm getragenen Kleidung ab.

Bei einer teilweisen Exposition des Körpers ist eine lokale Erwärmung („heiße Stellen“) in Muskeln oder inneren Organen möglich. Auch können bei der Exposition sofort oberflächliche Verbrennungen auftreten. Ernste innere Verletzungen sind möglich, ohne dass Verbrennungen auf der Haut erkennbar sind. Eine starke lokale Exposition über den zulässigen Werten kann Muskeln oder das umgebende Gewebe in den exponierten Gliedmaßen schädigen (Kompartmentsyndrom). Diese Schädigung entsteht unmittelbar oder spätestens innerhalb weniger Tage. Generell können die meisten Gewebe eine kurze Temperaturerhöhung ohne Schädigung ertragen; jedoch ist eine Temperatur von 41 °C über mehr als 30 Minuten schädigend.

Bei Expositionen, die zu einer erheblichen Erwärmung der Hoden führen, kann die Zahl der produzierten Spermien vorübergehend herabgesetzt sein. Eine Erwärmung erhöht auch die Gefahr einer Fehlgeburt in einem frühen Stadium der Schwangerschaft.

Es ist bekannt, dass das Auge gegenüber Wärme empfindlich ist. Somit können sehr hohe Expositionen, die deutlich über dem Expositionsgrenzwert liegen, Entzündungen der Lederhaut, der Iris oder der Bindehaut verursachen. Symptome sind unter anderem Rötung, Augenschmerzen, Lichtempfindlichkeit und Pupillenverengung. Katarakte (Linsentrübungen) sind selten, können aber eine Spätfolge der Exposition sein und sich Wochen oder Monate nach der Exposition entwickeln. Berichte von Wirkungen, die Jahre nach der Exposition auftreten, sind nicht bekannt.

Bei Feldern mit höheren Frequenzen (etwa 6 GHz und darüber) ist die Energieabsorption zunehmend oberflächlich. Diese Felder werden von der Hornhaut des Auges absorbiert. Damit Verbrennungen verursacht werden, muss der Expositionsgrenzwert aber deutlich überschritten werden. Von der Haut werden solche Hochfrequenzfelder ebenfalls absorbiert, und ausreichend hohe Expositionen können Schmerzen und Verbrennungen verursachen.

Wenn Arbeitnehmer in Betrieb befindliche Antennen oder große metallische, ungeerdete Gegenstände (z. B. Fahrzeuge) innerhalb des Feldes berühren, können sie einen elektrischen Schlag oder Verbrennungen erleiden. Ähnliche Effekte sind möglich, wenn ein nicht geerdeter Arbeitnehmer einen geerdeten metallischen Gegenstand berührt. Verbrennungen dieser Art können oberflächlich sein oder tief im Körperinneren auftreten. Metallische Implantate, einschließlich Zahnfüllungen und Piercings (sowie Schmuck und einige bei Tätowierungen verwendete Farbpigmente) können eine Konzentration des Feldes bewirken, was zu lokalen Erwärmungen und Verbrennungen führt. Bei einer hohen Exposition der Hand ist auch eine Nervenschädigung möglich.

Aus Berichten von Arbeitnehmern, die einer übermäßigen Exposition ausgesetzt waren, geht hervor, dass ebenfalls weitere Symptome auftreten können. Dazu zählen Kopfschmerzen, Darmprobleme, Lethargie und ein lang anhaltendes Kribbelgefühl im exponierten Gewebe.

Außerdem kann es zu Stressreaktionen im Zusammenhang mit einer tatsächlichen oder vermuteten zu hohen Exposition kommen.

Tabelle 11.1 Wirkungen und Symptome bei Expositionen über den gesundheitlichen Expositionsgrenzwerten

Feld	Frequenz	Mögliche Wirkungen und Symptome
Statische Magnetfelder	0 Hz bis 1 Hz	Störungen bei medizinischen Geräten Schwindel und Übelkeit, Beeinträchtigung von Durchblutung, Herzfrequenz und Hirnfunktionen (über 7 T möglich) Nervenstimulation und Muskelkontraktionen (schnelle Bewegungen)
Niederfrequente Magnetfelder	1 Hz bis 10 MHz	Störungen bei medizinischen Geräten Visuelle Empfindungen Nervenstimulation, die zu Kribbeln oder Schmerzen führen kann Muskelkontraktionen, Herzrhythmusstörungen
Niederfrequente elektrische Felder	1 Hz bis 10 MHz	Elektrischer Schlag und oberflächliche Verbrennungen (beim Berühren von Gegenständen)
Hochfrequente Felder	100 kHz und darüber	Störungen bei medizinischen Geräten Wärmeempfinden Wärmebelastung Elektrischer Schlag und oberflächliche oder tiefer gehende Verbrennungen (beim Berühren von Gegenständen) Weitere Symptome möglich

Felder im Zwischenfrequenzbereich (100 kHz bis 10 MHz) verursachen eine Mischung der durch niedrige und hohe Frequenzen hervorgerufenen Symptome.

11.2 Gesundheitsüberwachung

Arbeitnehmer sollten einer regelmäßigen Gesundheitsüberwachung unterzogen werden, wenn dies aufgrund nationaler Rechtsvorschriften oder Praktiken erforderlich ist. Da jedoch keine Risiken oder Symptome infolge der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern unter den Expositionsgrenzwerten bekannt sind, gibt es keine Grundlage für regelmäßige ärztliche Untersuchungen. Eine Gesundheitsüberwachung kann aus anderen Gründen gerechtfertigt sein.

Zu Arbeitnehmern, die durch elektromagnetische Felder besonders gefährdet sind, zählen Schwangere und Personen mit aktiven oder passiven implantierten medizinischen Geräten oder Personen, die medizinische Geräte am Körper tragen. Diese Arbeitnehmer sollten ihren zuständigen arbeitsmedizinischen Dienst regelmäßig konsultieren, um sicherzustellen, dass sie etwaige zusätzliche Beschränkungen, denen sie in ihrem Arbeitsumfeld unterliegen können, in vollem Umfang verstehen. Außerdem bieten diese Konsultationen dem Arbeitnehmer die Gelegenheit, unerwünschte oder unerwartete gesundheitliche Auswirkungen zu melden und die Situation zu beobachten.

Arbeitnehmer, die an unerwarteten oder unerwünschten gesundheitlichen Auswirkungen leiden, sollten gegebenenfalls eine angemessene ärztliche Untersuchung erhalten.

11.3 Ärztliche Untersuchung

Vorsehentliche zu hohe Expositionen, die eine Verletzung oder Schädigung verursachen, sollten wie andere Arbeitsunfälle gemäß nationalen Rechtsvorschriften und Praktiken behandelt werden.

Wenn ein Arbeitnehmer einen elektrischen Schlag und/oder Verbrennungen erlitten hat, über Schmerzen klagt oder eine erhöhte Temperatur hat, sollte er sofort von einer medizinischen Fachkraft behandelt werden. Diese Auswirkungen sollten in der üblichen Art und Weise behandelt werden, die gemäß den am Arbeitsplatz bestehenden Regelungen vorgesehen ist. Arbeitnehmer, die einen elektrischen Schlag oder Verbrennungen erlitten haben, sollten im Anschluss von einem Kliniker mit der entsprechenden Fachkenntnis behandelt werden. Andere Arbeitnehmer können sich zur weiteren Behandlung ihrer Symptome an den eigenen Hausarzt oder einen Arbeitsmediziner wenden.

Nach einer zu hohen Exposition gegenüber einem elektromagnetischen Feld müssen keine speziellen Untersuchungen durchgeführt werden. Es ist beispielsweise nicht belegt, dass die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern eine Veränderung der Blutwerte (wie Zahl der Blutkörperchen, Harnstoff und Elektrolyte) oder der Leberfunktion bewirkt. Jedoch ist bei einer zu hohen Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern unter Umständen eine Augenuntersuchung angemessen, die in der Regel spätestens innerhalb von drei Monaten nach der Erstuntersuchung wiederholt wird. Eine derartige Untersuchung wird normalerweise von einem Augenarzt durchgeführt.

11.4 Gesundheitsakten

Arbeitnehmern, die eine tatsächliche oder vermutete Exposition über den Expositionsgrenzwerten erfahren haben, sollte eine ärztliche Untersuchung zugutekommen. Die Untersuchung sollte während der Arbeitszeit möglich sein, und die damit verbundenen Kosten sollten nicht vom Arbeitnehmer getragen werden. Die Führung der Gesundheitsakten sollte den nationalen Rechtsvorschriften und Praktiken entsprechen.

Die Gesundheitsakten sollten eine Übersicht über die durchgeführten Maßnahmen enthalten und in einer Form vorliegen, damit eine spätere Einsichtnahme möglich ist, sofern Vertraulichkeitsanforderungen eingehalten werden. Die Arbeitnehmer sollten auf Verlangen Zugang zu ihrer Gesundheitsakte haben.

Einzelheiten zu einer tatsächlichen oder vermuteten zu hohen Exposition sollten, sofern verfügbar, so bald wie möglich nach dem Ereignis aufgezeichnet werden. Die Aufzeichnungen sollten die Intensität und die Dauer der Exposition sowie die Frequenz des Feldes umfassen (um die Eindringtiefe des Feldes in den Körper einzuschätzen). Wichtig ist außerdem die Feststellung, ob der ganze Körper oder nur ein bestimmter Teil des Körpers dem elektromagnetischen Feld ausgesetzt war und ob der Arbeitnehmer einen Herzschrittmacher oder ein anderes medizinisches Gerät trägt. Beispiele für solche Aufzeichnungen enthält der Bericht des Finnischen Instituts für Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz zum Thema Arbeiten mit einem Herzschrittmacher in elektromagnetischen Feldern (Alanko et al. 2013).

Abschnitt 5

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

ANHANG A

ARTEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER

Die elektromagnetischen Felder, die die meisten kennen werden, sind diejenigen, die in der Natur vorkommen. Man geht davon aus, dass das Erdmagnetfeld, das die Erdoberfläche umgibt, durch elektrische Ströme erzeugt wird, die tief im Inneren der Erde im flüssigen Eisenkern entstehen. Auch wenn der Ursprung dieses Feldes nicht lückenlos erforscht ist, wird die Wechselwirkung dieses Feldes mit dem in einem Kompass verwendeten magnetischen Material seit Jahrhunderten in der Navigation genutzt. Gleichermaßen entstehen durch die in Gewitterwolken erzeugte elektrische Ladung sehr hohe Spannungen zwischen den Wolken und der Erdoberfläche. Diese Spannungen bewirken elektrische Felder zwischen den Wolken und der Erde, die zu plötzlichen starken Entladungen des elektrischen Stroms zwischen den Wolken und der Erde führen können, was wir allgemein als Blitze kennen.

Abbildung A1 Natürliche Quellen elektromagnetischer Felder:
a) ein Kompass, mit dem die Richtung des statischen Erdmagnetfeldes erkannt wird, und b) Entladungen bei hohen Spannungen zwischen Wolken und Erde, als „Blitz“ bekannt



A.1 Entdeckung des Elektromagnetismus

Seit Urzeiten kennen die Menschen die Auswirkungen von statischer Elektrizität und Magnetismus. Ein wichtiger Fortschritt beim Verständnis elektromagnetischer Phänomene dürfte jedoch die von Luigi Galvani im Jahr 1780 gemachte Entdeckung sein, dass Froschschenkel bei Anwendung von Elektrizität, die durch zwei unterschiedliche Metalle erzeugt wird, zum Zucken gebracht werden können. Dieses Prinzip machte sich Alessandro Volta etwa zehn Jahre später bei seiner Volta'schen Säule, der ersten funktionierenden Batterie, zunutze.

Die Erfindungen setzten sich in Europa in beschleunigtem Tempo fort, und 1820 entdeckte Hans Christian Ørsted den Zusammenhang zwischen elektrischen Strömen und Magnetfeldern, als er eine Kompassnadel durch einen stromdurchflossenen Draht ablenkte. Im gleichen Jahr konnte André-Marie Ampère nachweisen, dass zwei stromdurchflossene Leiter eine Anziehungskraft aufeinander ausüben, und in der Folge untersuchte Michael Faraday die magnetische Induktion.

Einige Jahre später formulierte James Clerk Maxwell die Theorie des Elektromagnetismus in mathematischer Hinsicht und veröffentlichte 1873 sein „Lehrbuch der Electricität und des Magnetismus“ („A Treatise on Electricity and Magnetism“). Die Ideen von Maxwell über elektromagnetische Wellen dienen noch heute als Grundlage für die Theorie des Elektromagnetismus.

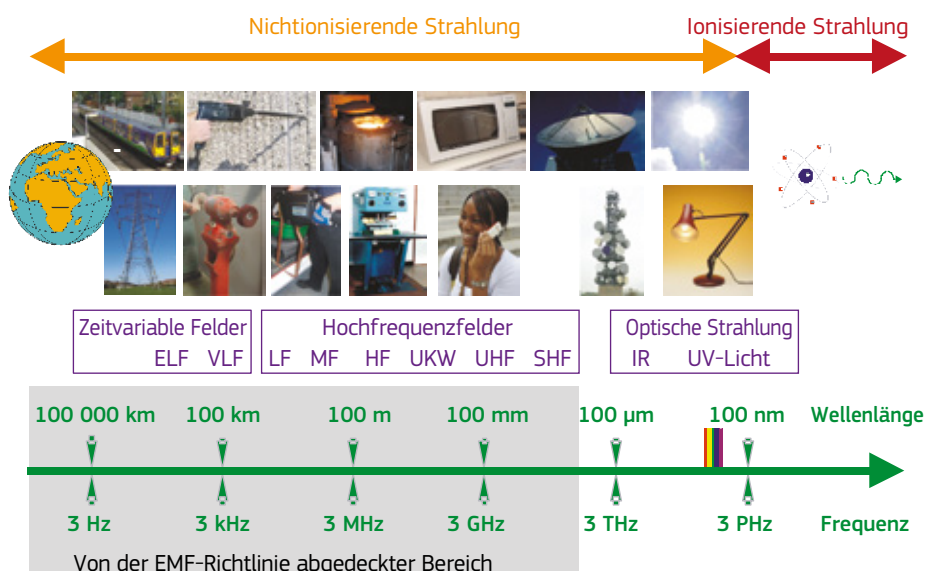
Heinrich Hertz bestätigte 1885 die Ideen Maxwells durch die Erzeugung und den Nachweis elektromagnetischer Wellen, und zehn Jahre später machte sich Guglielmo Marconi diese Entdeckung zunutze, um Nachrichten über große Entfernungen mittels Funksignalen zu übertragen. 1892 baute Nikolai Tesla den ersten Wechselstromgenerator, was von großer Bedeutung für die Erzeugung von Strom ist.

Elektromagnetische Felder sind inzwischen alltäglich in der modernen Welt. Eine moderne Gesellschaft ohne elektrische Geräte ist schwer vorstellbar. Im 20. Jahrhundert stieg die Nutzung elektrischer Energie in Industrie und Haushalt sprunghaft an. Rundfunk und Fernsehen erlebten ein vergleichbares Wachstum. Ende des 20. und Anfang des 21. Jahrhunderts konnte eine Revolution in der Telekommunikation beobachtet werden, die dazu führte, dass Mobiltelefone und drahtlose Geräte heutzutage weit verbreitet sind. Elektromagnetische Felder werden außerdem in speziellen Anwendungen wie in der Funknavigation und in der Medizin weithin eingesetzt.

A.2 Elektromagnetisches Spektrum

Das elektromagnetische Spektrum (siehe Abbildung A2) umfasst einen weiten Bereich von Strahlungen mit verschiedenen Frequenzen und Wellenlängen. Die Beziehung zwischen Frequenz und Wellenlänge wird in Anhang C erläutert. Der von der EMF-Richtlinie abgedeckte Bereich dieses Spektrums erstreckt sich von statischen Feldern (0 Hz) bis hin zu zeitvariablen elektromagnetischen Feldern mit Frequenzen von bis zu 300 GHz (0,3 THz). Innerhalb dieses Bereichs sind Strahlungen anzutreffen, die allgemein als statische Felder, zeitvariable Felder und Radiowellen (einschließlich Mikrowellen) bezeichnet werden. Weitere Bereiche des elektromagnetischen Spektrums, die von der EMF-Richtlinie nicht abgedeckt werden, umfassen die optische Strahlung (infrarotes, sichtbares und ultraviolettes Licht) und den Bereich der ionisierenden Strahlung. Diese Bereiche werden in der Richtlinie 2006/25/EU über künstliche optische Strahlung und der Richtlinie 2013/59/Euratom zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung behandelt.

Abbildung A2 Elektromagnetisches Spektrum

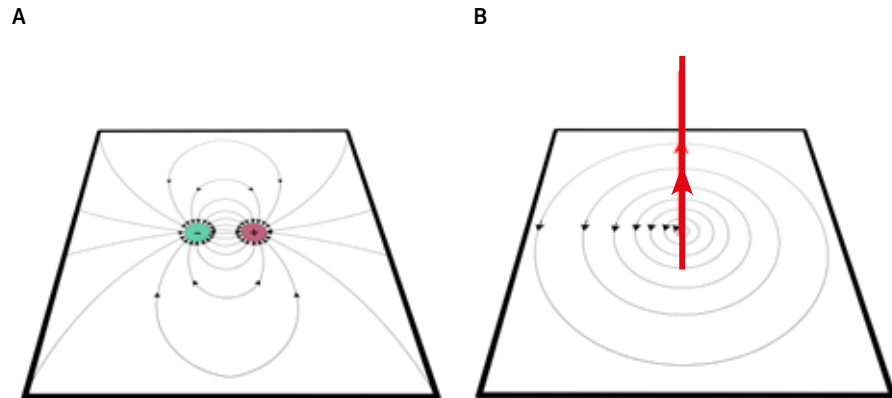


Die elektromagnetische Strahlung innerhalb des von der EMF-Richtlinie abgedeckten Bereichs verfügt nicht über ausreichend Energie, um Elektronen aus den Atomen eines Materials herauszulösen, und wird deshalb als nichtionisierend klassifiziert. Röntgen- und Gammastrahlen sind elektromagnetische Strahlungen mit hoher Energie, die diese sogenannten Hüllenelektronen herauslösen können, und werden somit als ionisierende Strahlungen klassifiziert.

A.3 Erzeugung elektromagnetischer Felder

Elektrische Ladungen erzeugen ein elektrisches Feld. Wenn sich elektrische Ladungen bewegen, fließt ein elektrischer Strom, wodurch ein Magnetfeld erzeugt wird. Die EMF-Richtlinie befasst sich mit der Gefährdung der Gesundheit und Sicherheit, die von ebendiesen elektrischen und magnetischen Feldern am Arbeitsplatz ausgehen kann.

Abbildung A3 Darstellung der Feldlinien: (A) um elektrische Ladungen und (B) um einen fließenden elektrischen Strom (als rote Linie dargestellt)



Das einem Permanentmagnet umgebende Magnetfeld entsteht durch die Summierung aller Magnetfelder, die erzeugt werden, indem sich die im Material vorhandenen Elektronen in eine Richtung bewegen. In einem nicht magnetischen Material gibt es keine solchen Bewegungen, und die um jedes Atom erzeugten winzigen Magnetfelder heben sich gegenseitig auf.

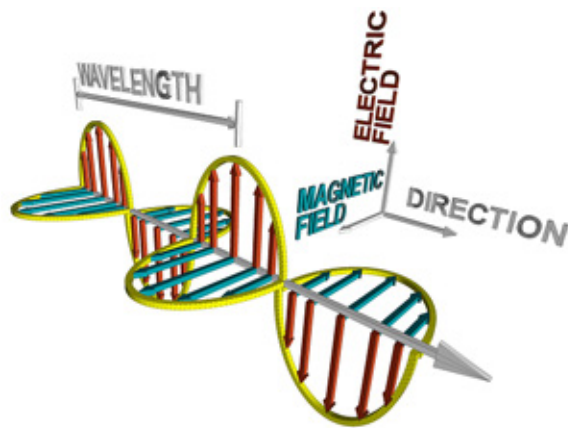
A.3.1 Zeitvariable Felder

Wenn sich die elektrische Ladung eines Gegenstands im zeitlichen Verlauf ändert oder der Ladungsfluss (Strom) unterschiedlich ist, bilden sich zeitvariable Felder. Welcher Art die zeitvariablen Felder sind, bestimmt sich durch die Frequenz der Schwingungen. Bei niedrigen Frequenzen können elektrische und magnetische Felder unabhängig voneinander betrachtet werden. Je mehr sich die Frequenzen dem Hochfrequenzbereich nähern, desto enger sind diese Felder miteinander gekoppelt: Ein zeitvariables elektrisches Feld induziert ein magnetisches Feld und umgekehrt. Genau dieses Zusammenspiel zwischen elektrischem und magnetischem Feld ermöglicht es, dass elektromagnetische Strahlung sich im Raum über große Entfernungen ausbreiten kann.

A.3.2 Elektromagnetische Strahlung

Durch die Wechselwirkung zwischen elektrischem und magnetischem Feld im Hochfrequenzbereich kann sich die Energie von ihrer Entstehungsquelle lösen. In dem von der Quelle entfernten Feld schwingen die beiden Komponenten – das elektrische und das magnetische Feld – jeweils im rechten Winkel zueinander sowie im rechten Winkel zu der Richtung, in die sich die Welle ausbreitet. Die Ausbreitung erfolgt mit Lichtgeschwindigkeit. Je nach Konstruktion eines Senders kann die Strahlung in alle Richtungen ausgesendet oder in eine bestimmte Richtung gelenkt werden.

Abbildung A4 Elektromagnetische Strahlung besteht aus einer magnetischen und einer elektrischen Feldkomponente, die im rechten Winkel zueinander schwingen, und breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit aus



ANHANG B

GESUNDHEITLICHE WIRKUNGEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER

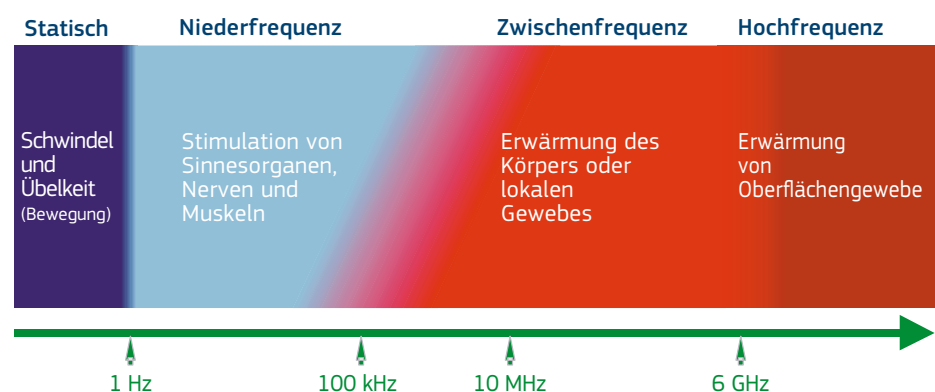
B.1 Einführung

Welche Arten von Auswirkungen durch eine Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern verursacht werden, hängt in erster Linie von der Frequenz des betreffenden Feldes ab. Der Grund dafür ist, dass unterschiedliche Frequenzen auf unterschiedliche Weise auf den menschlichen Körper einwirken. Das hat zur Folge, dass niederfrequente Felder und hochfrequente Felder nicht die gleichen Wirkungen hervorrufen. Niederfrequente Felder bewirken eine Stimulation von Nerven und Muskeln, während hochfrequente Felder eine Erwärmung verursachen.

Auf der Grundlage ihrer Wechselwirkung mit dem Menschen können elektromagnetische Felder grob in vier Bereiche eingeteilt werden (Abbildung B1): Felder mit Frequenzen von 0 Hz bis 1 Hz (statische Felder), Felder mit Frequenzen von 1 Hz bis 100 kHz (niederfrequente Felder), Felder mit Frequenzen von 100 kHz bis 10 MHz (Felder im Zwischenfrequenzbereich) und Felder mit Frequenzen über 10 MHz (hochfrequente Felder). Über einigen GHz ist die Erwärmung zunehmend auf die Körperoberfläche beschränkt.

In der EMF-Richtlinie werden Wirkungen infolge einer Einwirkung auf das Nervensystem als nichtthermische Wirkungen betrachtet und Wärmewirkungen, die durch die Exposition gegenüber Feldern über 100 kHz entstehen, als thermische Wirkungen.

Abbildung B1 Schematische Darstellung der grundlegenden direkten Wirkungen elektromagnetischer Felder, in der die wichtigsten Grenzfrequenzen angegeben sind, die für die Definition von Expositionsgrenzwerten und Auslöseschwellen in der EMF-Richtlinie verwendet werden



Das Ausmaß der Reaktion auf eine bestimmte Frequenz hängt von der Stärke des Feldes ab. Schwächere Felder rufen hauptsächlich Wahrnehmungs- oder sensorische Wirkungen hervor, während stärkere Felder schwerwiegendere Reaktionen bewirken. Damit eine Reaktion, gleich bei welcher Frequenz, auftritt, muss ein Schwellenwert für die Exposition überschritten werden.

Die EMF-Richtlinie sorgt für den Schutz von elektromagnetischen Feldern ausgesetzten Arbeitnehmern durch die Angabe einer Reihe von Expositionsgrenzwerten. Für jeden Frequenzbereich gibt es einen niedrigeren Wert für die Begrenzung sensorischer Wirkungen und

einen höheren Wert für die Begrenzung gesundheitlicher Wirkungen (siehe Tabelle B1). Diese Werte basieren auf den von der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP) veröffentlichten Leitlinien und berücksichtigen nur die Kurzzeitwirkungen einer Exposition, die auf wissenschaftlich nachgewiesenen biophysikalischen Wirkungsmechanismen beruhen.

Tabelle B1 Übersicht über die maßgeblichen gesundheitlichen und sensorischen Wirkungen zur Begrenzung der Exposition in unterschiedlichen Frequenzbereichen

Feld und Frequenz	Sensorische Wirkungen	Gesundheitliche Wirkungen
Statisches Magnetfeld 0 Hz bis 1 Hz	Schwindel, Übelkeit, metallischer Geschmack	Veränderung der Durchblutung in Gliedmaßen, Veränderung der Hirnfunktionen Veränderung der Herzfunktion
Niederfrequente Felder 1 Hz bis 10 MHz	Phosphene (als Lichtblitze wahrgenommen) (Geringe Veränderung der Hirnfunktionen 1 Hz bis 400 Hz)	Kribbeln oder Schmerzen (Nervenstimulation) Muskelzuckungen Herzrhythmusstörungen
Hochfrequente Felder 100 kHz bis 6 GHz	Mikrowellenhören (200 MHz bis 6,5 GHz)	Übermäßige Ganzkörper- oder lokale Erwärmung oder Verbrennungen
Hochfrequente Felder 6 GHz bis 300 GHz		Lokale Wärmeschädigung des Auges oder der Haut
Anmerkung: Die durch Felder im Zwischenfrequenzbereich (100 kHz bis 10 MHz) hervorgerufenen Wirkungen sind eine Kombination der Wirkungen infolge nieder- und hochfrequenter Felder.		

Es besteht stets die Möglichkeit, dass eine wiederholte, längerfristige Exposition zu bisher noch nicht bekannten Gesundheitsrisiken führen kann. Die EMF-Richtlinie gibt jedoch an, dass in ihr keine möglichen Langzeitwirkungen berücksichtigt werden.

B.2 Statische Magnetfelder (0 Hz bis 1 Hz)

In Ruhe befindliche Personen werden durch statische Magnetfelder allgemein nicht beeinträchtigt. Bei einer sehr hohen Intensität kann ein statisches Magnetfeld unter Umständen eine Wirkung auf das Herz oder das Gehirn haben (siehe Tabelle B1). Wenn sich eine Person aber in diesen Feldern bewegt, tritt eine Wirkung auf. Durch die Bewegung werden elektrische Felder im Gewebe erzeugt, was sich auf Nervengewebe auswirken kann. Jüngsten Ergebnissen zufolge können diese Wirkungen auch im stationären Zustand verursacht werden. Die Stärke der induzierten elektrischen Felder hängt von den zeitlichen und räumlichen Gradienten ab.

Das Gleichgewichtsorgan im Ohr ist besonders empfindlich, was zu Schwindelgefühlen beim Durchqueren des Feldes oder bei schnellen Kopfbewegungen innerhalb des Feldes führt. Auch sind Auswirkungen auf die Zunge möglich, wobei sich ein bestimmtes Geschmackempfinden einstellt, und es wurde von Übelkeit oder anderen Symptomen während der Arbeit in der Umgebung von aktiven MRT-Geräten berichtet. Alle diese Wirkungen sind vorübergehend und bestehen bei verlangsamer oder eingestellter Bewegung nicht mehr.

Es gibt keine Belege dafür, dass eine Exposition eine dauerhafte Schädigung oder ernste gesundheitsschädliche Wirkungen verursacht. Durch langsame Bewegungen in diesen Feldern können die genannten Wirkungen gemildert werden. Außerdem können die Arbeitnehmer geschützt werden, wenn die externe magnetische Flussdichte auf 2 T begrenzt wird.

B.3 Niederfrequente Felder (1 Hz bis 100 kHz)

B.3.1 Niederfrequente elektrische Felder

Niederfrequente elektrische Felder außerhalb des Körpers können elektrische Felder im Körpergewebe induzieren. Da die Körperoberfläche aber ein hohes Maß an Abschirmung bietet, sind die im Körper induzierten Felder wesentlich schwächer als das externe Feld.

Grundsätzlich können die induzierten elektrischen Felder ähnliche Wirkungen hervorrufen wie die durch die Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern verursachten (siehe Abschnitt B3.2). Allerdings sind aufgrund des Abschirmungseffekts die induzierten elektrischen Felder normalerweise zu schwach, um bei den am Arbeitsplatz üblicherweise anzutreffenden externen elektrischen Feldern gesundheitsschädliche Wirkungen hervorzurufen.

Darüber hinaus können niederfrequente elektrische Felder eine weitere Wirkung haben, die in Verbindung mit Magnetfeldern nicht auftritt. Ein Arbeitnehmer kann ein Prickeln oder Kribbeln auf der Haut verspüren, wenn er sich in einem elektrischen Feld ausreichender Stärke aufhält. Dieser Effekt ist bisweilen auch an Tagen mit geringer Luftfeuchtigkeit unterhalb einer Hochspannungsleitung zu verspüren. Der Grund ist, dass das niederfrequente elektrische Feld eine Aufladung der Körperoberfläche bewirkt, und diese elektrische Ladung führt dazu, dass sich die feinen Körperhaare aufstellen oder vibrieren (mit der doppelten Frequenz des niederfrequenten Feldes). Ähnliche Empfindungen sind möglich, wenn die feinen Haare gegen die Kleidung vibrieren.

B.3.2 Niederfrequente Magnetfelder

Niederfrequente Magnetfelder induzieren elektrische Felder im menschlichen Körper. Niedrigere Feldwerte können eine Stimulation der Sinnesorgane bewirken, während bei stärkeren Feldern eine Stimulation der Nerven und Muskeln (vor allem in Armen und Beinen) möglich ist. Die Einwirkungen auf die Sinnesorgane sind nicht schädlich, können den Arbeitnehmer aber stören oder ablenken, während die durch stärkere Felder verursachten Wirkungen unangenehm oder sogar schmerzhaft sein können.

Da Gewebe je nach Art gegenüber den jeweiligen Frequenzen mehr oder weniger empfindlich ist, werden abhängig von der Frequenz unterschiedliche Wirkungen empfunden.

Tabelle B2 Ort der Wechselwirkung und Spitzenempfindlichkeit in Bezug auf die unterschiedlichen Wirkungen

Wirkung	Ort der Wechselwirkung	Spitzenempfindlichkeit (Hz)
Metallischer Geschmack	Rezeptoren der Zunge	< 1 Hz
Schwindel, Übelkeit Stimulation von Nerven und Muskeln	Innenohr (Gleichgewichtsorgan) Durchblutung – im Gewebe induzierte elektrische Felder	< 0,1 Hz bis 2 Hz
Phosphene	Netzhautzellen im Auge	~ 20 Hz
Taktile Empfindung und Schmerzempfindung Induzierte Muskelkontraktion Einwirkungen auf das Herz	Periphere Nerven Periphere Nerven und Muskeln Herz	~ 50 Hz

Das Auge ist offenbar sehr empfindlich gegenüber den Auswirkungen elektrisch induzierter Felder. Zu den bei einer Exposition am häufigsten berichteten Wirkungen zählen Phosphene. Hierbei handelt es sich um undeutliche, flackernde visuelle Wahrnehmungen im peripheren Sichtfeld (ähnlich dem Effekt, der durch leichtes Reiben der geschlossenen Augen hervorgerufen wird). Zum Schutz des Arbeitnehmers können diese Wirkungen unterbunden werden, indem das im Nervensystem induzierte elektrische Feld begrenzt wird.

Diese durch Oberflächenladungen hervorgerufenen Wirkungen sind nicht auf den Menschen beschränkt. Jeder metallische oder leitfähige Gegenstand (z. B. Fahrzeuge oder Zäune), der nicht geerdet ist, kann ebenfalls durch ein elektrisches Feld aufgeladen werden. Wenn eine Person diese Gegenstände berührt, erhält sie einen kleinen elektrischen Schlag. Tritt so ein Schlag einmalig auf, kann dies lediglich überraschend sein. Wiederholte elektrische Schläge beim Berühren eines Gegenstands können aber sehr störend sein oder schlimmere Folgen haben. Ein elektrischer Schlag ist gleichfalls möglich, wenn eine nicht geerdete Person einen geerdeten Gegenstand berührt. Um entsprechenden Schutz zu gewährleisten, ist gegebenenfalls eine spezielle Unterweisung der unter solchen Bedingungen arbeitenden Arbeitnehmer notwendig. Weitere Maßnahmen sind entsprechende Erdungstestvorrichtungen für Gegenstände und Arbeitnehmer und die Verwendung von isolierenden Schuhen, Handschuhen und Schutzkleidung.

B.4 Felder im Zwischenfrequenzbereich

Felder im Zwischenfrequenzbereich stellen einen Übergangsbereich zwischen nieder- und hochfrequenten Feldern dar. In diesem Bereich gehen die Auswirkungen von Wirkungen auf das Nervensystem allmählich zu Wärmewirkungen über, wobei Erstere vorwiegend bei 100 kHz und Letztere bevorzugt bei 10 MHz auftreten.



Wichtig: Felder im Zwischenfrequenzbereich

Felder im Zwischenfrequenzbereich werden in diesem Leitfaden als Felder mit Frequenzen zwischen 100 kHz und 10 MHz definiert, die sowohl nichtthermische als auch thermische Wirkungen verursachen können.

In anderen Quellen kann die Definition von Feldern im Zwischenfrequenzbereich unterschiedlich sein. Beispielsweise definiert die Weltgesundheitsorganisation Felder im Zwischenfrequenzbereich als Felder mit Frequenzen zwischen 300 Hz und 10 MHz.

B.5 Hochfrequente Felder

Bei der Exposition von Menschen gegenüber Feldern mit Frequenzen über 100 kHz tritt eine Körpererwärmung durch Absorption von Energie auf. Je nach Situation kann diese Erwärmung im ganzen Körper oder lokal in bestimmten Körperteilen, wie in Gliedmaßen oder im Kopf, auftreten.

Bei gesunden Erwachsenen regelt der Körper seine Temperatur normalerweise selbst sehr wirksam, wobei ein Gleichgewicht zwischen der zugeführten Wärme und den Wärmeableitmechanismen erreicht wird. Ist die Rate, mit der Energie absorbiert wird, jedoch zu hoch, dann sind die herkömmlichen Wärmeableitmechanismen möglicherweise nicht mehr in der Lage, die Körpertemperatur zu regulieren. Dies führt schrittweise zu einem kontinuierlichen Anstieg der Körpertemperatur um rund 1 °C oder mehr, was eine Wärmebelastung zur Folge hat. Dadurch wird nicht nur die Fähigkeit der Person, sicher zu arbeiten, erheblich eingeschränkt, sondern ein längerer Anstieg der Kerntemperatur des Körpers um wenige Grade oder mehr kann zudem äußerst gefährlich sein.

Indem die Rate der absorbierten Energie (die spezifische Energieabsorptionsrate, SAR) herabgesetzt wird, werden wärmebedingte Störungen ausgeschlossen, und der Arbeitnehmer ist geschützt. Da eine Erwärmung nicht sofort auftritt und der Körper eine erhöhte Wärmebelastung über eine kurze Dauer bewältigen kann, werden die Expositionsgrenzwerte über ein Sechs-Minuten-Intervall gemittelt. Dadurch können Arbeitnehmer für kurze Dauer erhöhten SAR-Werten ausgesetzt sein, sofern der durchschnittliche Wert nicht überschritten wird.

Darüber hinaus wurden die Expositionsgrenzwerte unter Berücksichtigung ausreichender Toleranzen festgesetzt, sodass andere Faktoren, die die Temperaturregulierung ebenfalls beeinflussen können, wie schwere körperliche Arbeit oder die Arbeit in einer heißen und feuchten Umgebung, nicht berücksichtigt werden müssen.

In vielen Situationen in der Industrie ist die Exposition nicht gleichmäßig, und die Energie wird nur in bestimmten Bereichen des Körpers, z. B. in Händen und Handgelenken, absorbiert. Wenn in diesen Situationen der Ganzkörper-Grenzwert angewandt würde, könnte in den exponierten Bereichen eine Schädigung infolge thermischer Wirkungen auftreten (da sich die absorbierte Energie auf eine weitaus kleinere Gewebemasse konzentrieren würde). Aus diesem Grund werden in der EMF-Richtlinie ebenfalls Grenzwerte für die Exposition von Teilen des Körpers angegeben.

Mithilfe dieser Werte soll eine übermäßige Erwärmung der wärmeempfindlichen Regionen des Körpers, z. B. die Linse im Auge und die Hoden bei Männern, verhindert werden. Auch der sich entwickelnde Fötus ist gegenüber einer zu hohen Körpertemperatur der Mutter ausgesprochen empfindlich, und schwangere Arbeitnehmerinnen sind als besonders gefährdet zu erachten.

Bei den höchsten Frequenzen, 6 GHz und darüber, dringen die Felder nicht wesentlich in den Körper ein, und die Erwärmung beschränkt sich weitestgehend auf die Haut. In diesem Fall können Schutzmaßnahmen darin bestehen, die über einen kleinen Bereich der Haut absorbierte Energie zu begrenzen.

Gepulste hochfrequente Felder können zu einer sensorischen Empfindung in Form von „Mikrowellenhören“ führen. Menschen mit normalem Hörvermögen können pulsmodierte Felder mit Frequenzen zwischen etwa 200 MHz und 6,5 GHz wahrnehmen. Dies wird je nach Modulationseigenschaften normalerweise als summendes, klickendes oder knackendes Geräusch beschrieben. Die zur Wahrnehmung des Feldes erforderliche Pulsdauer bewegt sich üblicherweise im Bereich einiger Zehntel Mikrosekunden.

Wie bei niederfrequenten elektrischen Feldern besteht die Gefahr eines elektrischen Schlags oder von Verbrennungen, wenn eine Person einen leitfähigen Gegenstand in einem hochfrequenten Feld berührt. Dieses Risiko wird in der EMF-Richtlinie ebenfalls berücksichtigt.

ANHANG C

PHYSIKALISCHE GRÖSSEN UND EINHEITEN IM ZUSAMMENHANG MIT ELEKTROMAGNETISCHEN FELDERN

Die von elektromagnetischen Feldern ausgehende Gefährdung hängt in erster Linie von der Frequenz und der Stärke des Feldes ab. Um die von einem bestimmten elektromagnetischen Feld ausgehende Gefahr bewerten zu können, muss man in der Lage sein, das Feld anhand gängiger physikalischer Größen zu charakterisieren. In den folgenden Abschnitten werden die in der EMF-Richtlinie verwendeten physikalischen Größen beschrieben.

Auf elektromagnetische Felder bezogene Größen können auf unterschiedliche Weise ausgedrückt werden. Das ist insbesondere aufgrund der Platzbeschränkungen bei Anzeigen von Messinstrumenten der Fall. Wenn man mit den verschiedenen Formen vertraut ist, die Einheiten annehmen können, können die gelieferten Informationen besser genutzt werden. Es folgen einige Beispiele:

- Die Größenordnung von Einheiten lässt sich z. B. durch Präfixe angeben. Somit stellen 1 Volt, 1 V, 1000 mV und 1 000 000 μ V jeweils denselben Wert dar. Die üblicherweise verwendeten Präfixe sind in Tabelle C1 aufgeführt.
- Eine hochgestellte Zahl (Exponent) nach einer Zahl oder Einheit gibt die Potenz der Zahl an. So steht m^2 z. B. für Quadratmeter und gibt an, dass es sich um eine Fläche handelt.
- Einheiten können auf unterschiedliche Weise ausgedrückt werden. Demnach stellen 100 Volt pro Meter, 100 V/m, 100 $V \cdot m^{-1}$, 100 Vm^{-1} und 100 Vm^{-1} jeweils denselben Wert dar.

Tabelle C1 In Verbindung mit SI-Einheiten verwendete Präfixe

Name	Symbol	Faktor
Tera	T	10^{12} , bzw. 1 000 000 000 000
Giga	G	10^9 , bzw. 1 000 000 000
Mega	M	10^6 , bzw. 1 000 000
Kilo	k	10^3 , bzw. 1 000
Milli	m	10^{-3} , bzw. 0,001
Micro	μ	10^{-6} , bzw. 0,000 001
Nano	n	10^{-9} , bzw. 0,000 000 001



Wichtig: In der EMF-Richtlinie verwendetes Format

Einheiten können in unterschiedlichem Format ausgedrückt werden. In der EMF-Richtlinie wird für Einheiten das Format Vm^{-1} verwendet. Diese Schreibweise wird auch im vorliegenden Leitfaden übernommen.

Als Dezimalzeichen wird in der EMF-Richtlinie ein Komma verwendet.

C.1 Frequenz (f)

Die in der EMF-Richtlinie angegebenen Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerte werden in Bezug auf die Frequenz des elektromagnetischen Feldes angegeben. Die Frequenz wird normalerweise durch den Buchstaben f dargestellt.

Die Frequenz eines elektromagnetischen Feldes gibt an, wie oft pro Sekunde der Berg einer elektromagnetischen Welle einen bestimmten Punkt durchläuft. Sie gibt die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde wieder und ist eine grundlegende Eigenschaft einer Welle.

Die Einheit der Frequenz ist Hertz (Hz).

Die Frequenz hängt eng mit der Wellenlänge eines elektromagnetischen Feldes zusammen, die durch das Symbol λ dargestellt wird. Die Wellenlänge wird in Meter (m) gemessen.

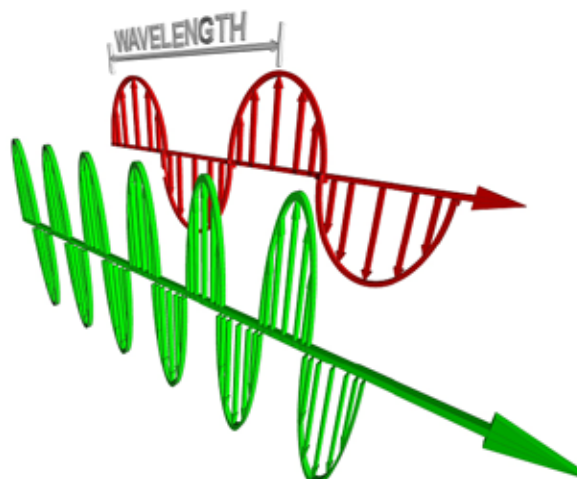
Wie oft der Wellenberg einen gegebenen Punkt pro Sekunde durchläuft, hängt von der Wellenlänge ab, da sich alle elektromagnetischen Wellen in einem Vakuum mit derselben Geschwindigkeit ausbreiten. Somit besitzen Felder mit größeren Wellenlängen niedrigere Frequenzen (Abbildung C1).

Die Beziehung zwischen Frequenz und Wellenlänge wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Wobei gilt: c ist die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ($3,0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$).

Abbildung C1 Darstellung der Wellenlänge elektromagnetischer Wellen. Eine Welle mit einer größeren Wellenlänge besitzt eine niedrigere Frequenz (rot), während bei Wellen mit einer kleineren Wellenlänge die Frequenz größer ist (grün)



C.2 Elektrische Feldstärke (E)

Die elektrische Feldstärke an einem bestimmten Punkt in einem elektrischen Feld ist die Kraft, die auf ein geladenes Teilchen an diesem Punkt ausgeübt wird. Sie ist eine Vektorgröße und besitzt einen Wert und eine Richtung. Die elektrische Feldstärke bzw. die Intensität des elektrischen Feldes kann mit dem Abhang eines Berges verglichen werden. Je steiler der Abhang ist, desto stärker ist die Kraft, die bewirkt, dass ein Gegenstand den Berg hinabrollt. Auf ein elektrisches Feld übertragen bedeutet das, je größer die elektrische Feldstärke ist, desto größer ist die Kraft, die auf ein geladenes Teilchen ausgeübt wird.

Die elektrische Feldstärke wird normalerweise durch den Buchstaben E dargestellt und in Volt pro Meter (Vm^{-1}) angegeben.

Elektrische Felder können sowohl außerhalb als auch innerhalb des menschlichen Körpers vorhanden sein. Die Auslöseschwellen für elektrische Felder unter 10 MHz und für elektromagnetische Felder über 100 kHz sind in Bezug auf die externe elektrische Feldstärke angegeben. Die in Anhang II der EMF-Richtlinie angegebenen Expositionsgrenzwerte für nichtthermische Wirkungen sind in Bezug auf die interne elektrische Feldstärke innerhalb des Körpers angegeben.

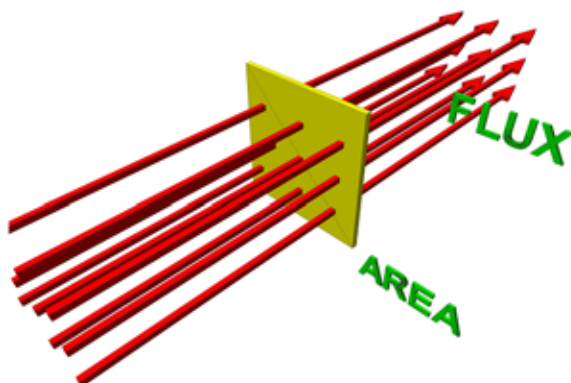
C.3 Magnetische Flussdichte (B)

Die magnetische Flussdichte ist ein Maß für den magnetischen Fluss durch eine bestimmte Fläche (Abbildung C2). Die magnetische Flussdichte ist umso größer, je mehr Feldlinien auf einer gegebenen Fläche vorhanden sind, wodurch die Dichte der Flusslinien hoch ist. Die magnetische Flussdichte übt eine Kraft auf sich bewegende Ladungen aus.

Der magnetische Fluss ist ein Maß für die „Intensität des Magnetismus“. Er ist eine skalare Größe, die die Stärke und das Ausmaß eines Magnetfeldes angibt.

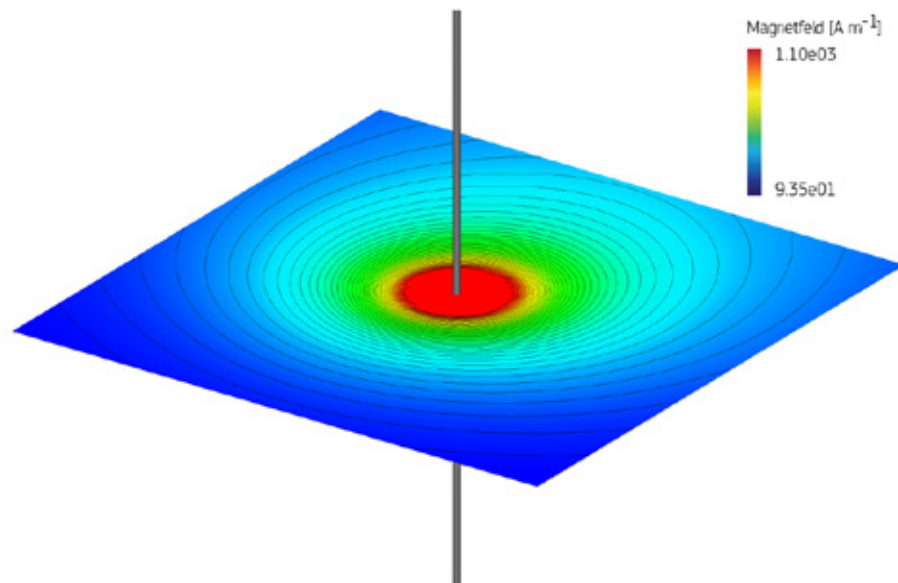
Die magnetische Flussdichte wird normalerweise durch den Buchstaben B dargestellt und in Tesla (T) angegeben.

Abbildung C2 Magnetischer Fluss (rot) durch eine definierte Fläche (gelb). Die magnetische Flussdichte gibt die Größe des magnetischen Flusses pro Flächeneinheit wieder und hat die Einheit Tesla



Die Expositionsgrenzwerte für Felder zwischen 0 Hz und 1 Hz werden in Bezug auf die magnetische Flussdichte angegeben. Gleichmaßen werden die Auslöseschwellen für Magnetfelder zwischen 1 Hz und 10 MHz und elektromagnetische Felder über 100 Hz in Bezug auf diese Größe angegeben.

Abbildung C3 Räumliche Verteilung der magnetischen Feldstärke um ein Kabel mit 50 Hz, das von einem Strom von 70 A durchflossen wird



C.4 Magnetische Feldstärke (H)

Wie die magnetische Flussdichte ist auch die magnetische Feldstärke ein Maß für die Stärke eines Magnetfeldes. Die magnetische Feldstärke wird durch den Buchstaben H dargestellt und in Ampere pro Meter (Am^{-1}) ausgedrückt. Die magnetische Feldstärke wird zwar in der EMF-Richtlinie nicht verwendet, sie ist aber in den ICNIRP-Leitlinien enthalten, und viele Instrumente für die Messung von Magnetfeldern geben das Ergebnis in dieser Größe an.

Im freien Raum kann der Wert der magnetischen Feldstärke mit der folgenden Gleichung in eine äquivalente magnetische Flussdichte umgerechnet werden:

$$B [\mu\text{T}] \approx H \times 1,25 [\text{Am}^{-1}]$$

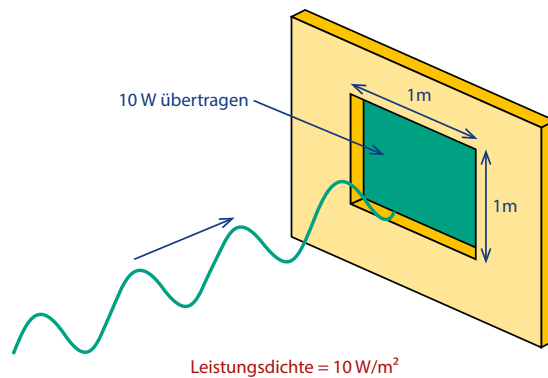
Wenn H den Wert 800 Am^{-1} hat,

entspricht B etwa $800 \times 1,25 \mu\text{T} = 1000 \mu\text{T} = 1 \text{ mT}$

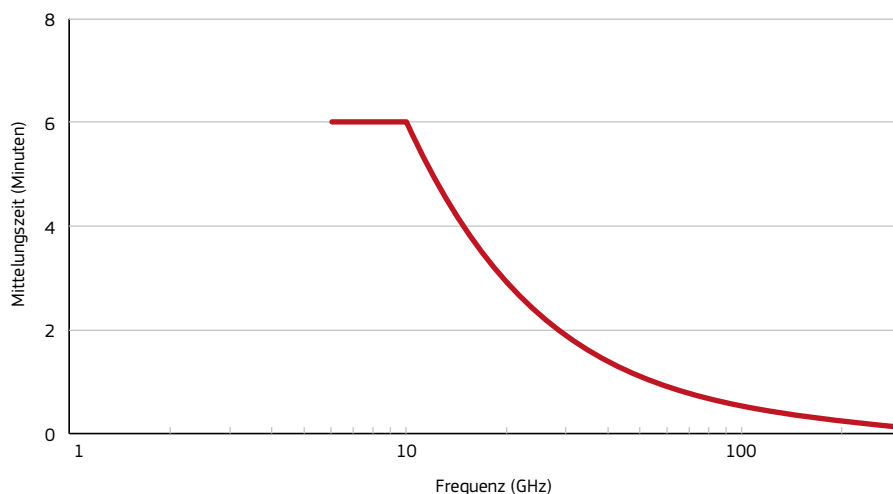
C.5 HF-Leistungsdichte (S)

Bei sehr hohen Frequenzen (über 6 GHz), bei denen die Eindringtiefe in den Körper niedrig ist, werden sowohl die Expositionsgrenzwerte als auch die Auslöseschwellen, die denselben Wert haben, in Bezug auf die Leistungsdichte angegeben. Die Leistungsdichte ist definiert als der senkrecht zu einer Oberfläche (gemessen in Quadratmeter) auftreffende Energiefluss (in Watt). Sie wird durch den Buchstaben S dargestellt und in Watt pro Quadratmeter (Wm^{-2}) ausgedrückt.

Beim Vergleich einer Leistungsdichte mit dem entsprechenden Expositionsgrenzwert und der entsprechenden Auslöseschwelle kann die Leistungsdichte über jedes exponierte Flächenelement von 20 cm^2 gemittelt werden, sofern die Leistungsdichte, gemittelt über jeweils 1 cm^2 der exponierten Fläche, das 20-Fache des Expositionsgrenzwerts oder der Auslöseschwelle nicht überschreitet (d. h. 1000 Wm^{-2}).

Abbildung C4 Leistungsdichte ist der Energiefluss pro Flächeneinheit

Die Leistungsdichte kann auch über eine Zeitspanne gemittelt werden, die von der Frequenz der Strahlung abhängt. Diese Zeitspanne wird in den Anmerkungen A3-1 und B1-4 in Anhang III der EMF-Richtlinie definiert und ist in Abbildung C5 grafisch dargestellt.

Abbildung C5 Grafischer Verlauf der Mittelungszeit für die Leistungsdichte abhängig von der Frequenz

C.6 Spezifische Energieabsorptionsrate (SAR)

Die spezifische Energieabsorptionsrate (SAR) ist die Rate, mit der Energie einer elektromagnetischen Strahlung je Masseneinheit des Körpergewebes absorbiert wird. Sie ist im Zusammenhang mit den thermischen Wirkungen elektromagnetischer Felder relevant.

Die spezifische Energieabsorptionsrate wird in Watt pro Kilogramm (Wkg^{-1}) ausgedrückt.

Die spezifische Energieabsorptionsrate ist hilfreich, um die Erhöhung der Kerntemperatur des Körpers infolge einer Ganzkörperexposition zu ermitteln. In diesem Fall wird die SAR über die Körpermasse des Arbeitnehmers gemittelt. Mit steigender SAR erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer Gewebeerwärmung und demnach auch die Wahrscheinlichkeit gesundheitsschädlicher Wirkungen. Die mittlere Ganzkörper-SAR eines Arbeitnehmers ist in der Regel bei der Resonanzfrequenz seines Körpers am höchsten. Die Resonanzfrequenz hängt von der Größe und der Form des menschlichen Körpers sowie von seiner Ausrichtung relativ zum auftreffenden elektromagnetischen Feld ab. Für

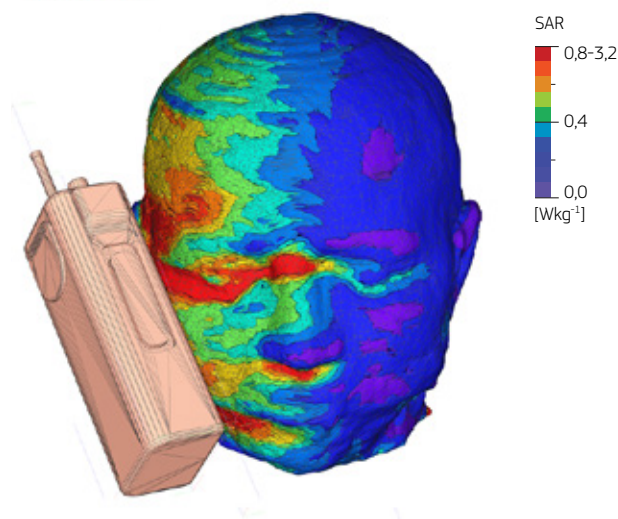
einen Arbeitnehmer durchschnittlicher Größe und Masse tritt eine Resonanz bei etwa 65 MHz auf, wenn der Arbeitnehmer gegenüber der Erde isoliert und das auftreffende Feld vertikal polarisiert ist.

Die lokale SAR ist anwendbar, wenn das auftreffende elektromagnetische Feld nur von einem kleinen Bereich des Körpers absorbiert wird, beispielsweise, wenn ein TETRA-Handgerät (Terrestrial Trunked Radio = terrestrischer Bündelfunk) an den Kopf gehalten wird. Die lokale SAR wird über 10 g einer Masse zusammenhängenden Körpergewebes gemittelt. Die SAR für 10 g zusammenhängendes Gewebe gibt die lokale Energieabsorption genauer wieder und ist ein besseres Maß für die SAR-Verteilung im Körper.

Wenn Körpergewebe Energie von einem Strahlungsfeld absorbiert, dauert es eine gewisse Zeit, bis das Gewebe ein thermisches Gleichgewicht herstellen kann. Aus diesem Grund werden die Ganzkörper- als auch die lokale SAR über eine bestimmte Zeitspanne (sechs Minuten) gemittelt.

Die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen bei Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern von 100 kHz bis 6 GHz werden in Bezug auf die Ganzkörper-SAR und die lokale SAR angegeben.

Abbildung C6 Verteilung der spezifischen Energieabsorptionsrate (SAR) im Kopf infolge der Exposition gegenüber einem TETRA-Handgerät mit 380 MHz



C.7 Spezifische Energieabsorption (SA)

Die spezifische Energieabsorption ist die je Masseneinheit biologischen Gewebes absorbierte Energie; sie wird ausgedrückt in Joule pro Kilogramm (Jkg^{-1}). In der EMF-Richtlinie wird sie zur Festlegung von Grenzen für Wirkungen gepulster Mikrowellenstrahlung verwendet.

Die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen bei Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern von 300 MHz bis 6 GHz werden in der EMF-Richtlinie in Bezug auf die über 10 g Gewebemasse gemittelte lokale SA angegeben.

C.8 Kontaktstrom (I_c)

Beim Kontakt mit passiven leitfähigen Gegenständen in elektromagnetischen Feldern kann ein Strom im Körper fließen, der entweder einen elektrischen Schlag und Verbrennungen oder eine lokale Erwärmung zur Folge haben kann. Zur Begrenzung dieses Effekts wurden Auslöseschwellen festgelegt. Der Kontaktstrom wird durch I_c wiedergegeben und in Milliampere (mA) ausgedrückt.

C.9 Strom durch die Gliedmaßen (I_L)

Der induzierte Strom durch die Gliedmaßen ist der elektrische Strom, der von einer Person in die Erde abgeleitet wird, die einem elektrischen Feld ausgesetzt ist, aber keinen leitfähigen Gegenstand berührt. Dieser Strom kann mithilfe eines anklemmbaren Stromwandlers um die Gliedmaße gemessen werden (Abbildung C7) oder indem der in die Erde abfließende Strom gemessen wird. Der Strom durch die Gliedmaßen wird durch I_L wiedergegeben und in Milliampere (mA) ausgedrückt.

Abbildung C7 Messung des Stroms durch die Gliedmaßen mittels einer Stromzange bei Verwendung eines dielektrischen Schweißgeräts mit 27 MHz



ANHANG D

EXPOSITIONSBEWERTUNG

In diesem Anhang erhalten Arbeitgeber einen Überblick über das Verfahren zur Bewertung von Expositionen am Arbeitsplatz in Bezug auf die EMF-Richtlinie. Dabei wird außerdem speziell auf Expositionen gegenüber mehreren Frequenzen und ungleichmäßige Expositionen eingegangen. Zweck dieses Anhangs ist nicht, ausführliche Messprotokolle zur Untersuchung bestimmter Komponenten von Arbeitsmitteln oder Arbeitsverfahren zu definieren. Das Europäische Komitee für elektrotechnische Normung (CENELEC) und andere Normungsgremien werden rechtzeitig diesbezügliche technische Normen erarbeiten.

Elektromagnetische Felder sind komplexe physikalische Einwirkungen, die sich zeitlich und räumlich ändern. Je nach Arbeitsplatzsituation wird die Exposition vorwiegend entweder durch die elektrische oder die magnetische Feldkomponente der Welle bewirkt. Die Welle kann mit einer bestimmten Frequenz schwingen oder aus vielen Frequenzen mit unregelmäßigen Schwingungen oder Impulsen bestehen. Während des Betriebszyklus können sich Frequenz und Amplitude auch im zeitlichen Verlauf ändern.

In bestimmten industriellen Situationen sind Messungen für einen Vergleich mit den in der EMF-Richtlinie festgelegten Auslöseschwellen notwendig. In manchen Situationen muss der Arbeitgeber noch weiter gehen und mittels berechnungsbasierter Techniken die Exposition in Bezug auf die in der EMF-Richtlinie festgelegten Expositionsgrenzwerte bewerten. Allgemein sind komplexere Bewertungsmethoden zeitaufwendiger und kostenintensiver; sie bieten aber eine bessere Einschätzung der Exposition, wobei sich die Konformitätsabstände verringern können.

Unabhängig von der Situation muss bei der Bewertung die Exposition unter ungünstigsten Bedingungen berücksichtigt werden, um festzustellen, ob der Arbeitsplatz die Vorschriften der EMF-Richtlinie erfüllt.

D.1 Expositionsbewertung – allgemeine Grundsätze

Abbildung D1 (nichtthermische Wirkungen) und Abbildung D2 (thermische Wirkungen) sowie die Abschnitte D1.1 bis D1.3 veranschaulichen eine mögliche Vorgehensweise bei der Konformitätsbewertung. Die vorgeschlagene Methode umfasst drei Hauptschritte. Niederfrequente und hochfrequente elektromagnetische Felder erfordern unterschiedliche Methoden, um den unterschiedlichen Auswirkungen dieser Felder auf den Menschen Rechnung zu tragen.

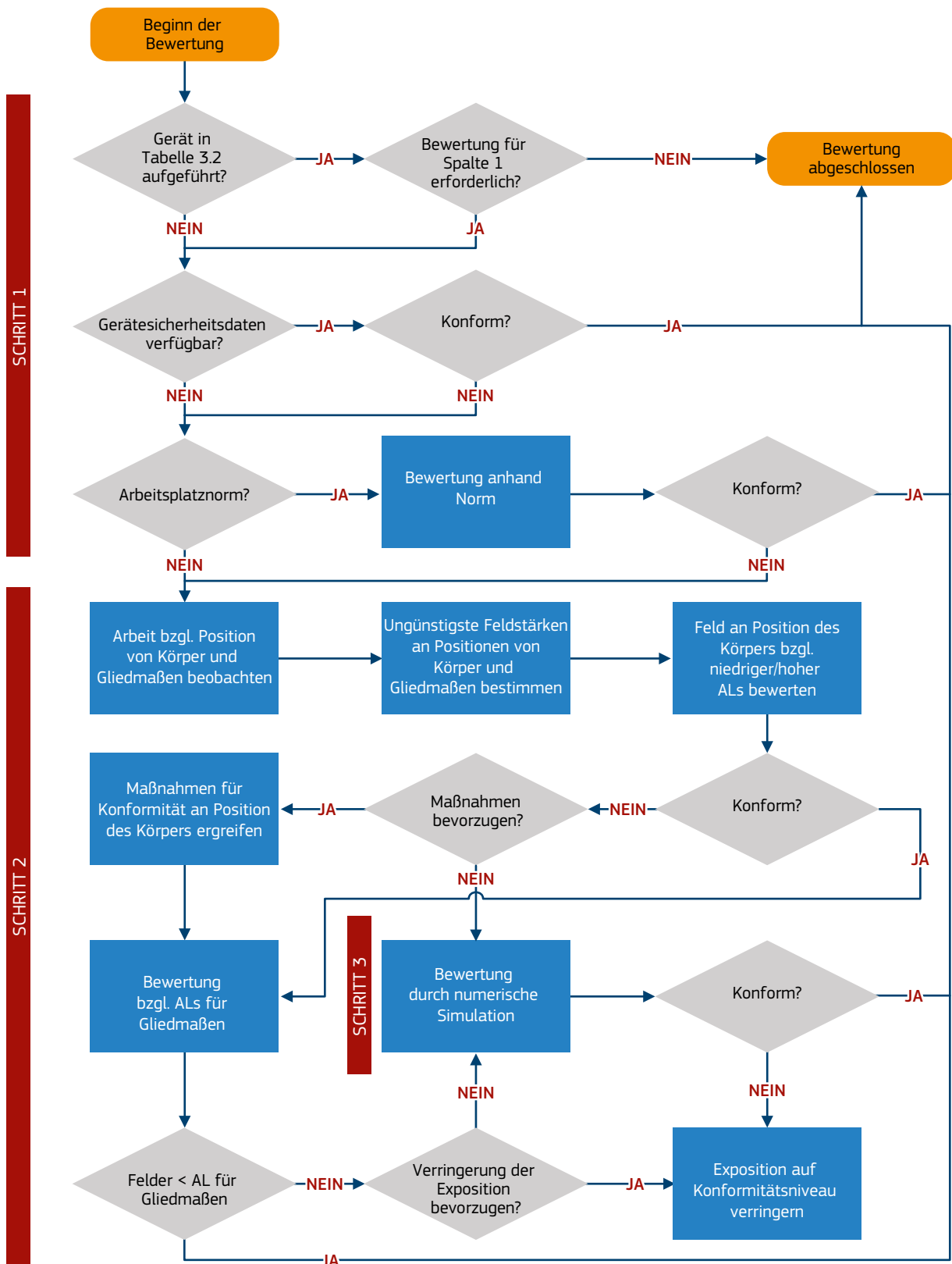
D.1.1 Schritt 1 – erste Bewertung

Um nachzuweisen, dass die Anforderungen der EMF-Richtlinie erfüllt werden, dürfen Arbeitgeber Daten der Gerätehersteller oder Datenbanken mit allgemeinen Bewertungen nutzen, falls Informationen dieser Art verfügbar sind. Allgemein dürften Arbeitgeber auf diese Weise Bewertungen im Haus durchführen können, was die Wahrscheinlichkeit verringert, dass sie sich an externe fachliche Stellen wie Sicherheitsorganisationen, Wirtschaftsberatungen und Forschungseinrichtungen wenden müssen.

Im ersten Schritt müssen alle Arbeitsmittel, Situationen und Tätigkeiten in der Arbeitsstätte ermittelt und aufgelistet werden, die elektromagnetische Felder erzeugen können. Anschließend muss bestimmt werden, welche davon mit der EMF-Richtlinie im Einklang stehen und welche eine eingehendere Bewertung (Schritt 2 und/oder Schritt 3) erfordern. Für diese Entscheidung kann die Tabelle in Kapitel 3 herangezogen werden.

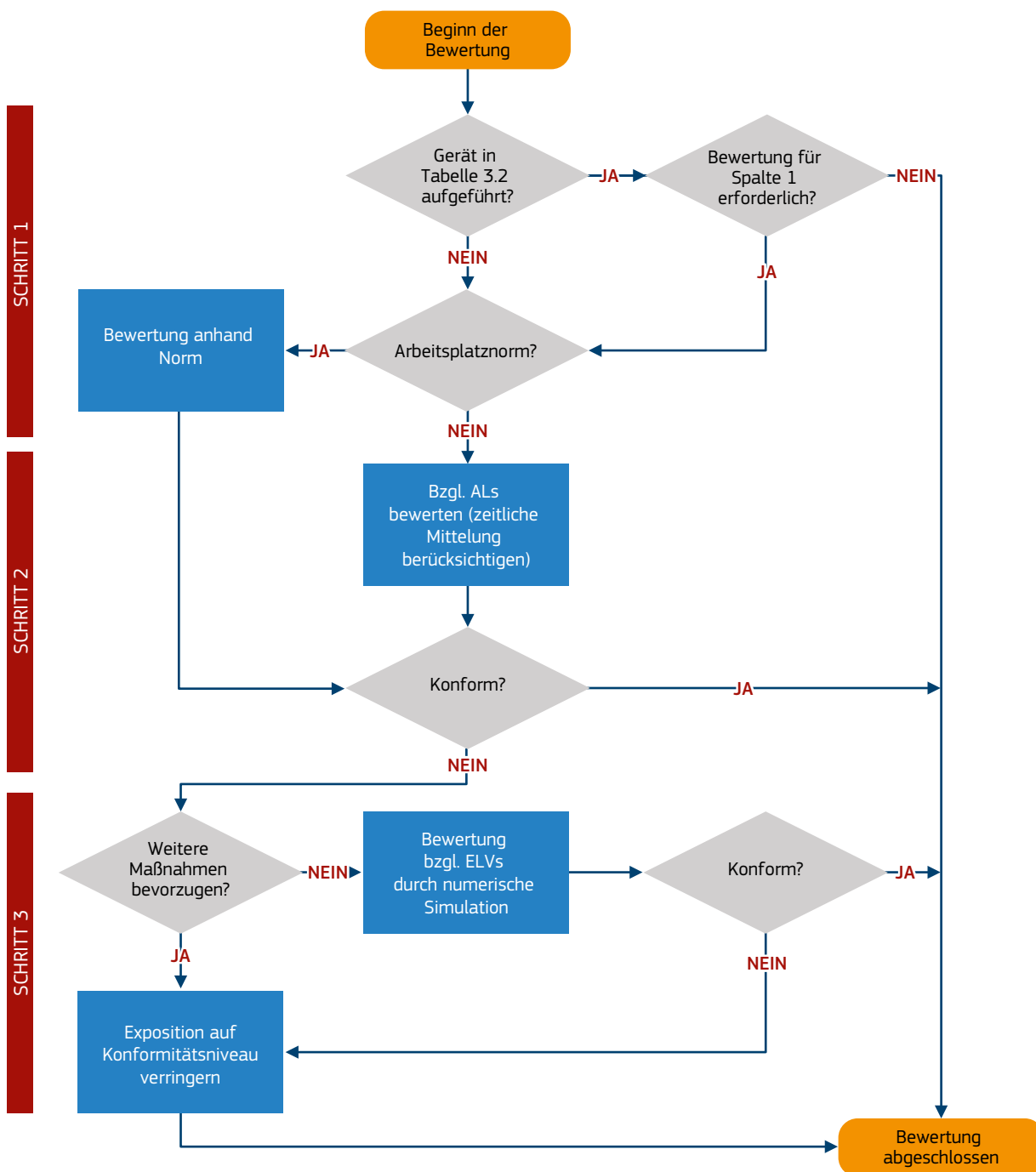
Für die meisten Arbeitsmittel, Tätigkeiten und Situationen dürfte keine Bewertung nach Schritt 2 oder 3 notwendig sein, da entweder kein Feld erzeugt wird oder die Felder ein äußerst niedriges Expositionsniveau aufweisen.

Abbildung D1 Ablaufdiagramm, das die verschiedenen Schritte zur Bewertung elektromagnetischer Felder am Arbeitsplatz für nichtthermische Wirkungen zeigt



Anmerkung: Das Ablaufdiagramm bezieht sich auf Auslöseschwellen (ALs) und Expositionsgrenzwerte (ELVs) für nichtthermische Wirkungen, die in Anhang II der EMF-Richtlinie festgelegt sind. Die Bewertung muss für elektrische und magnetische Felder getrennt durchgeführt werden.

Abbildung D2 Ablaufdiagramm, das die verschiedenen Schritte zur Bewertung elektromagnetischer Felder am Arbeitsplatz für thermische Wirkungen zeigt



Anmerkung: Das Ablaufdiagramm bezieht sich auf Auslöseschwellen (ALs) und Expositionsgrenzwerte (ELVs) für thermische Wirkungen, die in Anhang III der EMF-Richtlinie festgelegt sind. Die Bewertung muss für elektrische und magnetische Felder getrennt durchgeführt werden.

Gemäß der Maschinenrichtlinie (siehe Anhang G) sind Maschinenhersteller verpflichtet, Angaben über die von ihren Maschinen möglicherweise ausgehende Gefährdung durch elektromagnetische Felder zu machen. Allerdings sind die Hersteller nicht verpflichtet, Konformität mit der EMF-Richtlinie nachzuweisen. Dennoch sehen viele Hersteller einen Wettbewerbsvorteil darin, wenn sie ihren Kunden die benötigten Informationen zur Verfügung stellen, damit diese die Konformität mit der EMF-Richtlinie nachweisen können.

Künftig werden höchstwahrscheinlich Standards entwickelt werden, mit dem Ziel, den Nachweis der Konformität mit der EMF-Richtlinie zu ermöglichen. Auch wenn diese Standards voraussichtlich eher informativen als normativen Charakter haben, dürften sie als Grundlage dafür dienen, welche Informationen Hersteller bereitstellen. Die von den Herstellern zur Verfügung gestellten Informationen sind in der Regel in den mit dem Gerät gelieferten Handbüchern enthalten. Ist dies nicht der Fall, muss der Kunde sich an den Hersteller oder Lieferanten des Geräts wenden, um verfügbare Informationen zu verlangen.

Damit Geräte mit Bewertungsschritt 1 im Einklang stehen, müssen sie gemäß den Anweisungen des Herstellers installiert, betrieben und gewartet werden. Außerdem ist festzustellen, ob die Wahrscheinlichkeit besteht, dass sich die Exposition während Wartungs-, Instandhaltungs- oder Reparaturarbeiten ändert. In diesem Fall ist unter Umständen eine eingehendere Bewertung entsprechend Schritt 2 erforderlich.

Arbeitsplätze, die mit Bewertungsschritt 1 im Einklang stehen, bedürfen keiner weiteren Bewertung. Für sie sind lediglich die im Rahmen einer allgemeinen Risikobewertung festgestellten Ergebnisse zu dokumentieren. Wenn sich ein Arbeitsplatz als nicht mit Bewertungsschritt 1 konform erweist, ist eine Bewertung entsprechend Schritt 2 und gegebenenfalls entsprechend Schritt 3 erforderlich.

D.1.2 Schritt 2 – Bewertung in Bezug auf Auslöseschwellen

Bestimmte Arten von Arbeitsmitteln, Tätigkeiten und Situationen, für die z. B. in Tabelle 3.2 in Spalte 1 „Ja“ angegeben wurde, erfordern eine eingehendere Bewertung. Eine solche Bewertung ist unter Umständen anhand der von Herstellern oder anderen Quellen bereitgestellten Informationen möglich. Wenn Informationen dieser Art nicht leicht zugänglich sind, muss normalerweise mithilfe von Messungen oder Berechnungen untersucht werden, ob die zulässigen Werte eingehalten werden. Eine allgemeine Richtschnur ist, dass die Einhaltung der Auslöseschwellen mithilfe messbasierter Methoden und die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte mittels komplexerer numerischer Simulationen bewertet wird.

D.1.2.1 Vorbereitungsphase

Während der Vorbereitung einer Bewertung entsprechend Schritt 2 ist zunächst festzustellen, welche Informationen über das Arbeitsmittel, die Tätigkeit oder die Situation verfügbar sind. Dazu sollte im Detail erfasst werden, wie die Arbeit ausgeführt wird. Sofern Informationen vom Hersteller oder Lieferanten bereitgestellt werden, sind diese ebenfalls zu erfassen.

Für die Wahl der korrekten Bewertungsmethode ist es wichtig, dass Sie genau verstehen, wie die Arbeit ausgeführt wird, und dass Sie die Eigenschaften des Geräts, das elektromagnetische Felder erzeugt, kennen. Hierzu zählen üblicherweise Informationen über Frequenz, Spannung, Leistung und Arbeitszyklus.

- Lesen Sie im Benutzerhandbuch und in den technischen Spezifikationen des Herstellers nach, die mit dem Gerät geliefert wurden, um sich mit dem Gerät und seiner Nutzung vertraut zu machen.
- Stellen Sie fest, wie die Arbeit ausgeführt wird und welche Position der Bediener und andere Arbeitnehmer an diesem Arbeitsplatz einnehmen. Betrachten Sie ebenfalls die Position von Arbeitnehmern während Wartungs- und Reparaturarbeiten, da diese Arbeiten möglicherweise eine getrennte Bewertung erfordern.
- Stellen Sie fest, welche Personen sich im Arbeitsbereich aufhalten. Ist für diese Personen bekannt, ob sie schwanger sind, medizinische Implantate oder medizinische Geräte am Körper tragen?

D.1.2.2 Messungen zur Festlegung des Untersuchungsrahmens

In den meisten Situationen müssen am Arbeitsplatz Pilotmessungen oder Messungen zur Festlegung des Untersuchungsrahmens durchgeführt werden, um die Art der zu bewertenden Felder zu ermitteln. Messungen dieser Art werden zu Beginn der Untersuchung durchgeführt. Sie sollen dabei helfen, die Art der Messungen und Instrumente zu bestimmen, die zur korrekten Bewertung der Felder nötig sind. Tabelle D1 enthält Beispiele für die Faktoren, die während dieser Phase zu berücksichtigen sind.

Tabelle D1 Erwägungen im Hinblick auf Messungen zur Festlegung des Untersuchungsrahmens in Schritt 2

Attribute des elektromagnetischen Feldes	Beispielhafte Erwägungen	Auswirkungen für die Bewertung
Maßgebliche physikalische Größe	Handelt es sich um ein magnetisches, elektrisches oder elektromagnetisches Feld?	Bestimmt die Art des zur Durchführung der Messungen benötigten Messinstruments.
Frequenz und Amplitude	Breitet sich das Feld in Form einer kontinuierlichen Welle mit einer bestimmten Frequenz aus, oder handelt es sich um eine komplexe Wellenform, die aus mehreren Frequenzen besteht?	Bestimmt die Art des zur Durchführung der Messungen benötigten Messinstruments. Einfache sinusförmige Wellen mit einer bestimmten Frequenz können mithilfe einfacher Breitbandmessgeräte gemessen und die Ergebnisse direkt mit den Auslöseschwellen verglichen werden. Für komplexe Wellenformen sind gegebenenfalls anspruchsvolle Spektraltechniken erforderlich, um die verschiedenen Frequenzkomponenten zu ermitteln. Außerdem kann der Vergleich mit den Auslöseschwellen unter Umständen komplexe Analysen unter Nutzung von Risikomanagementsystemen, Spitzenwerten oder gewichteten Durchschnittswerten erfordern (siehe Abschnitt D3).
Räumliche Eigenschaften	Ändert sich die Feldstärke am betreffenden Standort, wobei dann eine ungleichmäßige Exposition auftreten dürfte?	Berücksichtigen Sie die Größe des Messfühlers sowie den Ort und die Anzahl der Messungen. Messungen sind erforderlich, um Situationen mit den ungünstigsten Expositionen zu erfassen (siehe Abschnitt D2).
Zeitliche Eigenschaften	Ändert sich die Frequenz und/oder die Stärke des Feldes während des Betriebszyklus?	Bestimmt die erforderlichen Messinstrumente sowie den Zeitpunkt und die Dauer der Messungen. Eventuell ist eine Protokollfunktion verfügbar; in diesem Fall müssen die Abtastrate und die Integrationsperiode für eine Messung berücksichtigt werden. Messungen sind erforderlich, um Situationen mit den ungünstigsten Expositionen zu erfassen. Die Schwierigkeit besteht darin, das Feld über einen ausreichenden Zeitraum und mit einer ausreichenden Abtastrate aufzuzeichnen, damit der Höchstwert des Feldes erfasst werden kann.

D.1.2.3 Maßgebliche physikalische Größe

Bei niedrigen Frequenzen müssen elektrische und magnetische Felder getrennt bewertet werden. In vielen industriellen Prozessen werden Geräte eingesetzt, die einen hohen Strom benötigen, wodurch Magnetfelder erzeugt werden. Starke elektrische Felder kommen am Arbeitsplatz seltener vor, da in relativ wenigen Anwendungen hohe Spannungen oder offene (nicht abgeschirmte) Leiter verwendet werden. Die Abschirmung magnetischer Felder ist wesentlich schwieriger.

Zudem ist die Feststellung wichtig, ob die Exposition im Fernfeld, also an einem von der Quelle entfernten Standort, oder im Nahfeldbereich auftritt. Die Grenze zwischen Fern- und Nahfeld wird im Wesentlichen von der Wellenlänge des Feldes und der Größe der Quelle bestimmt. Im Fernfeld besteht eine einfache Beziehung zwischen dem elektrischen und dem magnetischen Feld, die sich durch die Wellenimpedanz bestimmt. Somit kann zur Bestimmung der Gesamtexposition entweder das elektrische oder das magnetische Feld bewertet werden.

Im Nahfeld (in der Nähe der Quelle) lässt sich die Beziehung zwischen dem magnetischen und dem elektrischen Feld wesentlich schwieriger vorhersagen, da die Felder sich über sehr kurze Distanzen dermaßen stark ändern können, dass sie getrennt bewertet werden müssen. Messungen im Nahfeld sind generell problematisch, da sich die Feldstärke über sehr kurze Distanzen ändern kann und zudem eine Kopplung des Sensors mit dem Feld möglich ist, wodurch die Messung beeinträchtigt wird. In industriellen Situationen, die Stromübertragungs- und Heizprozesse umfassen, ist es aufgrund der Größe der Quelle und der Frequenz des Signals erforderlich, elektrische und magnetische Felder getrennt zu bewerten.

Unter Umständen sind keine aussagekräftigen Messungen im Nahfeld möglich. In diesem Fall ist die Alternative eine Bewertung entsprechend Schritt 3, die sich auf numerische Simulationen stützt.

D.1.2.4 Örtliche Änderung

In einem frühen Stadium der Untersuchung ist es wichtig, die Feldverteilung in Bezug auf die Position des Arbeitnehmers und die Änderung des Feldes innerhalb des Arbeitsplatzes festzustellen. Bei der Bewertung muss berücksichtigt werden, wo die maximale Feldstärke in Bezug auf die Position des Arbeitnehmers auftritt. In vielen Situationen nimmt die Feldstärke mit zunehmendem Abstand zur Feldquelle rasch ab.

Ändert sich das Feld über sehr kurze Distanzen erheblich, muss auf die Größe des Messfühlers besonders geachtet werden, da große Messfühler in diesem Fall ungenaue Messwerte zur Folge haben können. In solchen Situationen sind die auf die Exposition von Gliedmaßen bezogenen Auslöseschwellen möglicherweise besser geeignet, je nachdem, welcher Teil des Körpers den Feldern ausgesetzt ist. Auslöseschwellen für die Exposition von Gliedmaßen sind weniger streng als andere Auslöseschwellen.

Methoden für die örtliche Mittelung und der Nachweis der Einhaltung der zulässigen Werte bei einer ungleichmäßigen Exposition werden in Abschnitt D2 dieses Anhangs behandelt.

D.1.2.5 Charakterisierung der Wellenform

Viele am Arbeitsplatz anzutreffende elektromagnetische Felder liegen als kontinuierliche Welle mit einer bestimmten Frequenz vor. In diesem Fall ist eine recht einfache Bewertung mithilfe relativ einfacher Breitbandmessgeräte möglich. Manche in der Industrie eingesetzten Arbeitsmittel erzeugen komplexe Wellenformen, die aus mehreren Frequenzen bestehen. In diesen Fällen müssen anspruchsvolle Messinstrumente, wie Spektralanalysatoren oder Instrumente zur Wellenerfassung, eingesetzt werden, um das Signal zu erfassen.

Bewertungen im Falle mehrerer Frequenzen und komplexer Wellenformen werden in Abschnitt D3 dieses Anhangs eingehender beleuchtet.

D.1.2.6 Zeitliche Änderung

Die Bestimmung der zeitlichen Änderung der Frequenz und/oder der Stärke eines Feldes ist von Bedeutung. In einigen Situationen kann sich das Feld im Laufe des Betriebszyklus ändern. In diesem Fall muss bei der Bewertung die Variation der Feldstärke und der Frequenz berücksichtigt werden, und es ist der Zeitpunkt zu bestimmen, zu dem das Feld sein Maximum, also seinen Spitzenwert, erreicht.

Zeitliche Änderungen können beabsichtigt sein, wenn beispielsweise Signale zur Übertragung von Daten in Telekommunikationssystemen moduliert werden. Sie können auch zufällig auftreten, zum Beispiel die während Induktionsheizprozessen erzeugten harmonischen Signale oder wenn die Stromzufuhr zu bestimmten industriellen Ausrüstungen mithilfe eines Gleichrichters oder durch hochfrequentes Schalten gesteuert wird. Die Erkennung harmonischer Signale ist wichtig, da die Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerte sich je nach Frequenz ändern. Wie Expositionen infolge mehrerer Frequenzen in der Expositionsbeurteilung zu behandeln sind, wird in Abschnitt D3 beschrieben.

Viele moderne Instrumente verfügen über eine Protokollfunktion, mit der das Feld unter Verwendung vordefinierter Abtastintervalle über Zeitspannen von bis zu mehreren Stunden aufgezeichnet werden kann. Die Abtastrate wird abhängig davon gewählt, wie schnell sich ein Feld im zeitlichen Verlauf ändert. Ist die Abtastrate im Vergleich zur Feldänderung zu niedrig, wird der Spitzenwert unter Umständen nicht erfasst, was zu einer Unterschätzung der Exposition führen kann. Die Wahl der Integrationsperiode des Instruments, d. h. die vom Instrument zur Verarbeitung und Aufzeichnung des Signals benötigte Zeit, muss ebenfalls sorgfältig bedacht werden. Ändert sich das Feld innerhalb der Integrationsperiode rasch, kann dies ebenfalls zu einer zu niedrigen oder zu hohen Einschätzung der Exposition führen. Die meisten modernen Instrumente erfordern eine Integrationsperiode von mindestens einer Sekunde. Ändert sich das Feld schneller, ist es empfehlenswert, das Spitzensignal oder die gesamte Wellenform zu erfassen.

D.1.2.7 Statische Magnetfelder

Die EMF-Richtlinie gibt Expositionsgrenzwerte für externe Magnetfelder von 0 Hz bis 1 Hz an. Durch die Bewegung in statischen Magnetfeldern werden im Körper elektrische Felder induziert, die denen ähnlich sind, die durch niederfrequente zeitvariable Felder erzeugt werden. Die in dieser Situation erforderliche Bewertung der elektromagnetischen Felder wird in Abschnitt D4 beschrieben.

D.1.2.8 Hauptuntersuchungsphase

Sicherheitsaspekte bei der Durchführung von Messungen

Von den herkömmlichen Sicherheitserwägungen in einem Arbeitsumfeld abgesehen, ist darauf zu achten, dass auch die Person, die die Messungen durchführt, keinen elektromagnetischen Feldern über den Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerten und keinen Risiken durch indirekte Auswirkungen ausgesetzt ist. Bewährte Praxis ist, die Messungen in einigem Abstand von der Feldquelle durchzuführen. Dadurch ist gewährleistet, dass der Messtechniker keinen Feldern über der Auslöseschwelle oder des Expositionswerts ausgesetzt ist und das Messinstrument vor einer Beschädigung durch starke Felder geschützt ist, die in der Nähe einer starken Quelle auftreten können.

Insbesondere ist darauf zu achten, dass in statischen Magnetfeldern das Risiko der Projektilwirkung und in starken elektrischen Feldern die Gefahr von übermäßigen Stromschlägen und Kontaktströmen ausgeschlossen sind.

Es wird empfohlen, im Vorfeld eine geeignete Risikobewertung durchzuführen und entsprechende Schutz- oder Präventionsmaßnahmen zu ergreifen. Derartige Maßnahmen dürften vorwiegend organisatorischer Natur sein.

Untersuchungsmethode

Ort, Zeitpunkt und Dauer der Messungen sollten sorgfältig bedacht werden. Zunächst ist das Gespräch mit den Arbeitnehmern zu suchen, um herauszufinden, welche Tätigkeiten sie ausführen. Die Tätigkeiten sollten über einen gewissen Zeitraum beobachtet werden, um die entsprechenden Positionen des Körpers und der Gliedmaßen zu ermitteln, die für die Messungen relevant sind. Die Bewertungen sollten alle üblicherweise ausgeführten Tätigkeiten einschließen, darunter normaler Betrieb, Reinigung, Beheben von Blockierungen, Wartung sowie Instandhaltung und Reparatur, sofern diese Tätigkeiten intern ausgeführt werden.

Die am häufigsten verwendete Untersuchungsmethode sind Einzelmessungen an festgelegten Standorten am Arbeitsplatz oder an bestimmten Orten im Umfeld von Quellen elektromagnetischer Felder. Die gewählten Orte sollten die Bereiche widerspiegeln, an denen sich der Arbeitnehmer während der Ausführung der oben genannten Tätigkeiten aufhält. Es ist zu beachten, dass es sich bei den in der EMF-Richtlinie angegebenen Auslöseschwellen um Werte bei Abwesenheit des Körpers handelt; deshalb sollte der Arbeitnehmer während der tatsächlichen Messung nicht im betreffenden Bereich anwesend sein (siehe unten). Um mögliche Änderungen des Feldes im zeitlichen Verlauf zu berücksichtigen, kann die Protokollfunktion entsprechend eingestellt werden, um das Feld während der Einzelmessungen an unterschiedlichen Orten aufzuzeichnen.

Bewährte Praxis ist, während der Bewertung die Messungen an ein und demselben Ort in unterschiedlichen Intervallen zu wiederholen, um sicherzustellen, dass die Messungen stabil sind und die Messinstrumente ordnungsgemäß funktionieren.

Die Messung von elektrischen Feldern ist schwieriger als die von Magnetfeldern, da elektrische Felder leicht durch umgebende Gegenstände, einschließlich des menschlichen Körpers, gestört werden können. Die EMF-Richtlinie gibt ungestörte Auslöseschwellen an. Deshalb ist darauf zu achten, dass bei diesen Messungen der Körper eines Arbeitnehmers oder des Messtechnikers vom Messfühler ferngehalten wird (desgleichen darf der Messfühler nicht in die Nähe metallischer Gegenstände gelangen).

Messinstrumente

Damit die Bewertung gültig ist, müssen unbedingt geeignete Messinstrumente verwendet werden. Welches Messinstrument zu wählen ist, hängt von der Art der zu untersuchenden elektromagnetischen Felder ab. Anhand der technischen Spezifikationen eines Instruments lässt sich feststellen, ob es sich zur Messung des gewünschten Signals eignet. In manchen Situationen müssen sowohl elektrische als auch magnetische Felder gemessen werden. Wenn die Quelle bei Frequenzen über mehreren 10 MHz arbeitet und sich der Bediener im Fernfeld befindet, kann die Feldstärke des elektrischen Feldes in die des magnetischen Feldes (und umgekehrt) umgerechnet werden; Basis ist hierbei der Wert der Impedanz des freien Raumes ($Z_0 = 377 \text{ Ohm } (\Omega)$). Eine weitere wichtige Anforderung ist, dass die Messinstrumente nach rückverfolgbaren Normen zu kalibrieren sind, damit ihre ordnungsgemäße Funktion gewährleistet ist. Zu Beginn jeder Untersuchung ist das Messinstrument stets auf seinen höchsten Messbereich einzustellen, um eine Überlastung auszuschließen.

Instrumente mit einem einachsigen Sensor messen jeweils nur eine Komponente des Feldes. Bei dieser Art Sensor ist es wichtig, dass an der Messstelle Messungen in drei orthogonalen Richtungen durchgeführt werden, damit das resultierende Feld berechnet werden kann. Anspruchsvollere Instrumente verfügen über drei orthogonale Sensoren, die das resultierende Feld messen können. Wichtig ist außerdem die Wahl der Größe des Messfühlers. Der Messfühler muss kleiner sein als das Volumen des Raums, über den sich das Feld ändert. Weitere Informationen zu den entsprechenden Größen von Messfühlern enthält die Norm IEC 61786-1.

Viele moderne Instrumente können auf die Messung von Spitzenwerten oder Effektivwerten (RMS-Werten) eingestellt werden, wodurch die gemessenen Werte direkt mit den in der EMF-Richtlinie angegebenen Grenzwerten verglichen werden können. Die Auslöseschwellen in der EMF-Richtlinie sind in der Regel als RMS-Werte angegeben. Instrumente zur Messung von RMS-Werten eignen sich jedoch nicht immer zur Messung von Feldern, die durch Punktschweißgeräte oder RFID-Geräte erzeugt werden. In diesen Fällen ist das Signal unter Umständen gepulst, und das Feld ändert sich wesentlich schneller als die für das Instrument festgelegte Mittelungszeit. In Situationen, in denen komplexe Signale vorhanden sind, wird empfohlen, zur Bewertung der Exposition die Methode gewichteter Spitzenwerte anzuwenden (siehe Abschnitt D3).

In Tabelle D2 sind die wichtigsten Faktoren aufgeführt, die bei der Wahl geeigneter Instrumente zu berücksichtigen sind.

Tabelle D2 Bei der Wahl geeigneter Instrumente zu berücksichtigende Faktoren

Zu bewertende Eigenschaft des elektromagnetischen Feldes	Anforderungen an das Messinstrument
Frequenz	Das Instrument muss den kompletten Bereich der Frequenzen abdecken, die in dem zu betrachtenden Signal vorhanden sein können.
Amplitude	Das Instrument muss über einen ausreichend großen dynamischen Messbereich verfügen, um die aller Wahrscheinlichkeit nach auftretenden Feldstärken messen zu können.
Modulationseigenschaften	Das Instrument muss die unterschiedlichen Modulationsschemata erkennen können.
Zeitliche Änderung/Arbeitszyklus	Die Abtastrate und die Integrationsperiode des Instruments sowie die Dauer der Protokollierung sind zu berücksichtigen.
Örtliche Änderung	Der Messfühler muss kleiner sein als das Volumen des Raums, über dem sich das Feld ändert.
Ort: innen, außen oder beides Gewicht/Batterielebensdauer	Bei Untersuchungen im Außenbereich, wo keine Stromversorgung verfügbar ist, muss die Batterie eine ausreichende Lebensdauer besitzen. Das Instrument muss für Untersuchungen im Außenbereich geeignet sein.

Berichtsparameter

Tabelle D3 enthält Beispiele für die wichtigsten Parameter, die im Rahmen der Arbeitsplatzbewertung zu erfassen sind.

Wenn die Bewertung entsprechend Schritt 2 ergibt, dass die Umgebungsfelder unter den Auslöseschwellen liegen, erfüllt der Arbeitsplatz die Anforderungen der EMF-Richtlinie, und die Bewertung kann abgeschlossen werden (Abbildung D1).

Werden die Expositionsgrenzwerte oder Auslöseschwellen für statische Felder eventuell überschritten, muss der Arbeitgeber entsprechende Präventions- oder Schutzmaßnahmen ergreifen.

Werden bei niederfrequenten Feldern die niedrigen Auslöseschwellen überschritten, ist eine weitere Bewertung in Bezug auf die hohen Auslöseschwellen erforderlich. Liegen die Messwerte unter den hohen Auslöseschwellen, hat der Arbeitgeber die Möglichkeit, entweder Schutz- oder Präventionsmaßnahmen zu ergreifen (einschließlich der Unterweisung der Arbeitnehmer) oder eine Bewertung entsprechend Schritt 3 durchzuführen, um die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen nachzuweisen.

Tabelle D3 Beispiele für Parameter, die auf dem Untersuchungsblatt zu erfassen sind

Parameter	Anmerkung
Datum und Uhrzeit der Untersuchung	Angabe
Name des Ansprechpartners/ Einzelheiten zum Ort/Strukturen	Angabe
Bewerteter Arbeitsplatz	Angaben zu den vorhandenen Geräten, einschließlich Übersicht über die Betriebsdaten
Bewertete Tätigkeit oder Aufgabe des Arbeitnehmers	Normaler Betrieb, Wartung oder Reinigung
Maßgebliche physikalische Größe	Elektrisches Feld, magnetisches Feld oder Leistungsdichte
Angaben zum Messgerät	Breitband- oder Schmalbandmessgerät, Frequenzkennlinie, dynamischer Bereich, Abtastrate, Kalibrierungsdatum und Messunsicherheit
Messstrategie	Spitzenwert/RMS-Wert Resultante, x, y, z Einzel- oder erweiterte Messungen Messstellen (Diagramm oder Karte beifügen, sofern zutreffend) Abtastrate

Wenn die gemessenen Felder die hohen Auslöseschwellen überschreiten, muss die räumliche Ausdehnung des Feldes im Verhältnis zu dem exponierten Körperteil des Arbeitnehmers betrachtet werden, und die Felder müssen gegebenenfalls mit den Auslöseschwellen für die Exposition von Gliedmaßen verglichen werden. Ist die Exposition nicht lokal begrenzt oder überschreitet die lokale Exposition die Auslöseschwellen für die Exposition von Gliedmaßen, hat der Arbeitgeber zwei Möglichkeiten: Er kann entweder Schutz- und/oder Präventionsmaßnahmen ergreifen oder eine Bewertung entsprechend Schritt 3 durchführen, um zu untersuchen, ob die Expositionsgrenzwerte eingehalten werden (siehe Abschnitt D1.3).

Wenn die Umgebungsfelder bei hohen Frequenzen die Auslöseschwellen überschreiten, hat der Arbeitgeber auch hier wiederum die Möglichkeit, Schutz- und/oder Präventionsmaßnahmen zu ergreifen oder eine Bewertung entsprechend Schritt 3 durchzuführen.

Werden die Auslöseschwellen für Kontaktströme überschritten, muss der Arbeitgeber entsprechende Präventions- oder Schutzmaßnahmen ergreifen.

D.1.3 Schritt 3 – Bewertung in Bezug auf Expositionsgrenzwerte

D.1.3.1 Einführung

Die EMF-Richtlinie gibt Expositionsgrenzwerte an, die primär dazu dienen, die induzierten elektrischen Felder und die spezifische Energieabsorptionsrate (SAR) im Körper zu begrenzen. Diese Größen sind nicht einfach messbar, und demzufolge stützt sich die Bewertung entsprechend Schritt 3 auf komplexe numerische Simulationstechniken, um festzustellen, ob die Expositionsgrenzwerte eingehalten werden, wenngleich einige Lösungen verfügbar sind, die sich auf Messungen stützen.

Die Auslöseschwellen liefern konservative Schätzungen der maximalen Umgebungsfelder, denen ein Arbeitnehmer mit seinem ganzen Körper ausgesetzt sein kann, ohne dass die entsprechenden Expositionsgrenzwerte überschritten werden. Wenn Messungen zeigen, dass die Auslöseschwelle in einer bestimmten Expositionssituation möglicherweise überschritten wird, muss die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte unter Umständen dosimetrisch ermittelt werden.

Durch die Verwendung numerischer Simulationen kann beurteilt werden, ob die von einem Gerät erzeugten elektromagnetischen Felder eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte zur Folge haben. Mithilfe von Simulationen und der Anwendung der numerischen Dosimetrie wird die Verbindung zwischen den Auslöseschwellen (extern gemessene ungestörte elektromagnetische Felder) und den Expositionsgrenzwerten (simulierte Dosisgrößen, welche die Wechselwirkungen zwischen dem elektromagnetischen Feld und dem menschlichen Körper wiedergeben) hergestellt. Diese Simulationen werden verwendet, um die in Abwesenheit des Körpers gemessenen elektromagnetischen Feldwerte in Dosisgrößen innerhalb des Körpers umzurechnen.

Die Dosisgrößen für die Expositionsgrenzwerte umfassen die induzierte elektrische Feldstärke, die spezifische Energieabsorptionsrate (SAR) und die Leistungsdichte. Die gesundheitlichen Wirkungen und damit die Dosisgrößen hängen von der Frequenz des auftretenden Feldes ab. Für den niederfrequenten Bereich gibt die EMF-Richtlinie Expositionsgrenzwerte in Bezug auf die induzierte elektrische Feldstärke an, während für höhere Frequenzen die SAR und die Leistungsdichte herangezogen werden (Tabelle D4).

Tabelle D4 Mögliche schädliche biologische Wirkungen, Dosisgrößen für Expositionsgrenzwerte und Expositionsgrößen für Auslöseschwellen

Frequenz	Mögliche schädliche biologische Wirkung	Dosisgröße für Expositionsgrenzwerte (durch numerische Simulation)	Expositionsgröße für Auslöseschwellen (normalerweise gemessen)
1 Hz bis 10 MHz	Wirkungen auf das zentrale und das periphere Nervensystem	Induzierte elektrische Felder im stimulierten Gewebe in V/m	Elektrische Feldstärke, magnetische Flussdichte, induzierter Strom und Kontaktstrom
100 kHz bis 6 GHz	Gewebeerwärmung	SAR in W/kg SA in J/kg	(Elektrische Feldstärke) ² , (magnetische Flussdichte) ² , induzierter Strom und Kontaktstrom
6 GHz bis 300 GHz	Oberflächenerwärmung	Leistungsdichte in W/m ²	(Elektrische Feldstärke) ² , (magnetische Flussdichte) ² und Leistungsdichte

D.1.3.2 Wechselwirkungen elektromagnetischer Felder mit menschlichem Gewebe

Niederfrequente Felder

Im Niederfrequenzbereich können elektrische und magnetische Felder als entkoppelt betrachtet (quasistatische Näherung) und somit getrennt behandelt werden.

Externes elektrisches Feld

Der menschliche Körper stört ein auftreffendes niederfrequentes elektrisches Feld erheblich. In der Mehrzahl der Expositionssituationen steht das elektrische Feld senkrecht zur Erde. Da der menschliche Körper bei niedrigen Frequenzen ein guter Leiter ist, sind die im Körper induzierten elektrischen Felder um ein Vielfaches schwächer als das externe Feld.

Die Verteilung der Ladungen, die infolge der Exposition gegenüber einem externen elektrischen Feld auf der Körperoberfläche induziert werden, sind ungleichmäßig. Infolgedessen haben die im Körper induzierten internen Ströme meistens eine senkrechte Ausrichtung. Ein weiterer Faktor, der die Stärke und die räumliche Verteilung der induzierten elektrischen Felder im Körper wesentlich beeinflusst, ist der Kontakt zwischen dem Menschen und der Erde. Die im Körper induzierten elektrischen Felder sind am stärksten, wenn der Körper über beide Füße optimalen Kontakt zur Erde hat. Je besser der Körper gegenüber der Erde isoliert ist, desto schwächer sind die im Gewebe induzierten elektrischen Felder. Aus diesem Grund kann das Tragen isolierter Arbeitsschuhe unter manchen Umständen einen gewissen Schutz vor den Auswirkungen niederfrequenter Felder bieten.

Externes Magnetfeld

Im Gegensatz zu angelegten elektrischen Feldern bewirkt der menschliche Körper keine Störung eines angelegten Magnetfeldes. Das Magnetfeld im menschlichen Gewebe ist mit dem externen Magnetfeld identisch. Der Grund dafür ist, dass die magnetische Durchlässigkeit von Gewebe dieselbe ist wie die von Luft. Im Gewebe kann magnetisches Material (z. B. Magnetit) vorhanden sein; allerdings sind die Mengen dermaßen gering, dass sie für praktische Zwecke außer Acht gelassen werden können.

Die Hauptwechselwirkung eines externen Magnetfeldes mit dem Körper ist der nach dem Faraday'schen Induktionsgesetz in leitfähigem menschlichen Gewebe induzierte Stromfluss. In heterogenem Gewebe, das aus Regionen mit unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeit besteht, fließt ebenfalls Strom an den Übergängen zwischen diesen Regionen.

Hochfrequente Felder

Bei hohen Frequenzen kann man sich den menschlichen Körper als eine nicht perfekte leitende Antenne vorstellen. Im Körpergewebe werden elektrische Felder und Ströme induziert. Wenn der Körper auf ebener Erde steht, fließen die induzierten Ströme durch den Körper und senkrecht durch die Füße in die Erde. Induzierte elektrische Felder und Ströme rufen thermische Wirkungen im menschlichen Gewebe hervor, sowohl lokal als auch im ganzen Körper. Die Stärke und die räumliche Verteilung dieser induzierten elektrischen Felder hängen in hohem Maße von der Expositionssituation und der Frequenz ab.

Der Körper besitzt eine natürliche Resonanzfrequenz, die von der Körpergröße abhängt. Hochfrequente elektromagnetische Felder werden bei Frequenzen in der Nähe des Resonanzfrequenzbereichs besser absorbiert. Bei Frequenzen unter etwa 1 MHz absorbiert der menschliche Körper hochfrequente Energie in sehr geringem Maße. Die Absorption ist am größten bei einer Resonanzfrequenz zwischen 60 MHz und 80 MHz, wenn der menschliche Körper gegenüber der Erde isoliert ist, und zwischen 30 MHz und 40 MHz, wenn der Körper geerdet ist. Darüber hinaus können auch Körperteile eine Resonanz aufweisen. Der menschliche Kopf hat eine Resonanz bei etwa 400 MHz. Bei einer sitzenden Position können die obere und die untere Körperhälfte jeweils unterschiedliche Resonanzfrequenzen haben. Deshalb hängt die Frequenz, bei der hochfrequente Energie am stärksten absorbiert wird, von der Körpergröße und der Körperhaltung ab. Generell ist die Hochfrequenzerwärmung bei Frequenzen oberhalb des Resonanzbereichs geringer. Bei höheren Frequenzen konzentriert sich die Erwärmung eher auf der Körperoberfläche, da die Eindringtiefe des auftreffenden Feldes abnimmt.

D.1.3.3 Expositionsgrenzwerte

Expositionsgrenzwerte stellen die Dosisgrößen im menschlichen Körper dar und dienen dazu, den Menschen vor gesundheitsschädlichen Wirkungen zu schützen, wenn er elektromagnetischen Feldern ausgesetzt ist. Welche Expositionsgrenzwerte anwendbar sind, hängt von der Frequenz des untersuchten Feldes ab.

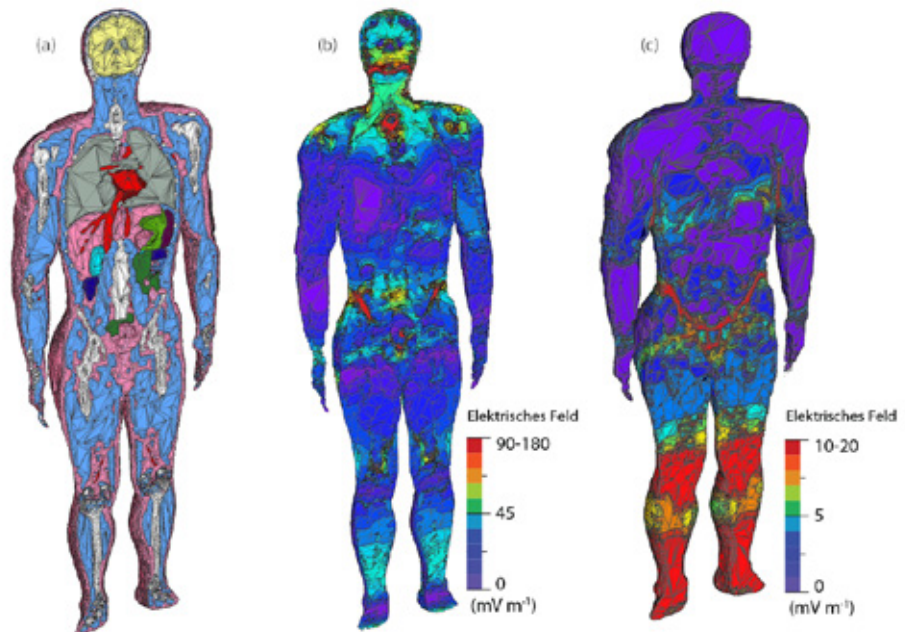
Niederfrequenzbereich

Bei niedrigen Frequenzen (1 Hz bis 10 MHz) ist die vorrangige dosimetrische Größe das im Inneren des menschlichen Körpers induzierte elektrische Feld. Der Grund ist, dass die Schwellenwerte für die Stimulation von Nervengewebe durch die Stärke und die örtliche Änderung dieser internen elektrischen Felder definiert werden. Das induzierte elektrische Feld hat die Einheit Volt pro Meter (Vm^{-1}).

Bei der Exposition gegenüber niederfrequenten elektrischen Feldern werden im Körper, der das auftreffende Feld erheblich stört, interne elektrische Felder erzeugt. Vom externen elektrischen Feld werden auf der Körperoberfläche ungleichmäßige Ladungen induziert. Gleichzeitig entstehen im Inneren des Körpers interne elektrische Felder, die Ströme im Körper erzeugen können.

Bei der Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern werden vom Magnetfeld, das ein elektrisches Feld und zugehörige Ströme im menschlichen Gewebe induziert, interne elektrische Felder erzeugt. Außerdem entstehen Felder durch den Stromfluss zwischen Regionen im Körpergewebe, die eine unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit besitzen. Abbildung D3 zeigt, wie die infolge der Exposition gegenüber externen niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern induzierten elektrischen Felder im Körper absorbiert werden.

Abbildung D3 Exposition gegenüber niederfrequenten Feldern. Schnittbilder des menschlichen Körpers, die Folgendes zeigen: (a) die inneren Organe, (b) die internen elektrischen Felder, die infolge der Exposition gegenüber einem externen niederfrequenten Magnetfeld erzeugt werden, und (c) die internen elektrischen Felder, die infolge der Exposition gegenüber einem externen niederfrequenten elektrischen Feld erzeugt werden

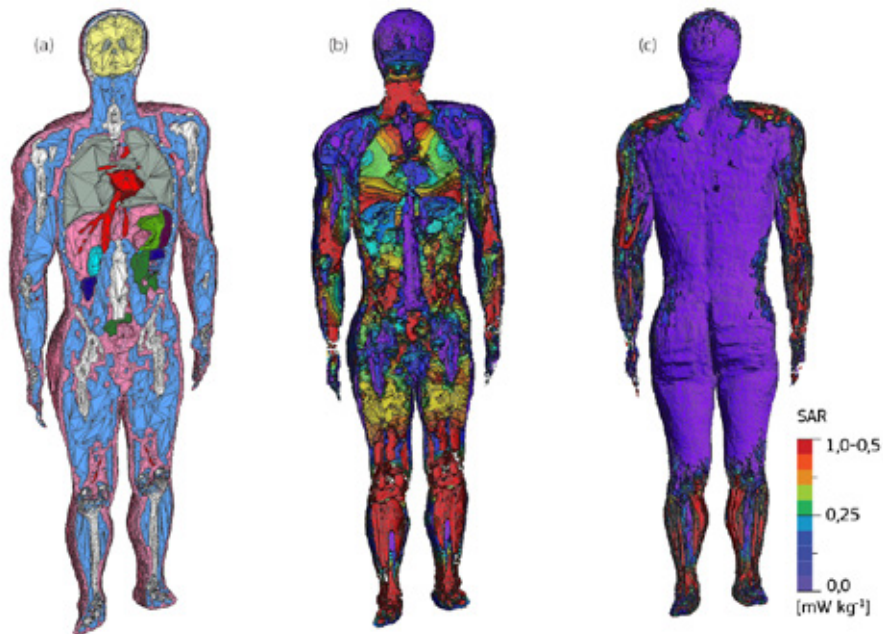


Hochfrequenzbereich

Bei hohen Frequenzen (100 kHz bis 300 GHz) ist die vorrangige dosimetrische Größe für die Absorption des elektromagnetischen Feldes die spezifische Energieabsorptionsrate (SAR). Der Grund dafür ist, dass die vorherrschenden schädlichen biologischen Wirkungen infolge der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern in diesem Frequenzbereich durch einen Temperaturanstieg im Gewebe hervorgerufen werden.

Die SAR wird als je Masseneinheit absorbierte Energie definiert. Ihre Einheit ist Watt pro Kilogramm (Wkg^{-1}). Die SAR wird in der EMF-Richtlinie als Dosisgröße verwendet, da sie eng mit der Temperaturerhöhung in menschlichem Gewebe zusammenhängt. Abbildung D4 zeigt die SAR-Verteilung im menschlichen Körper, wenn dieser einem hochfrequenten elektromagnetischen Feld ausgesetzt ist.

Abbildung D4 Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern. Schnittbilder des menschlichen Körpers, die Folgendes zeigen: (a) die inneren Organe, (b) die SAR im Gewebe infolge der Exposition gegenüber einem elektromagnetischen Feld mit 40 MHz und (c) die SAR im Gewebe infolge der Exposition gegenüber einem elektromagnetischen Feld mit 2 GHz



Die mithilfe der internen Dosisgrößen (elektrische Felder und SAR) definierten Expositionsgrenzwerte können durch Messungen nicht exakt bewertet werden, da sich Feldstärken im menschlichen Körper auf nichtinvasive Weise nicht messen lassen. Die Dosisgrößen für die Expositionswerte wurden zwar in Tieren gemessen; jedoch liegen nur wenige Daten vor, und die Messungen sind nicht sehr genau. Darüber hinaus können die Tierversuche nicht direkt auf den Menschen übertragen werden, da sich Mensch und Tier in vielen Bereichen physiologisch unterscheiden. Mit der numerischen Simulation der elektromagnetischen Absorption durch den Menschen, und damit der Einhaltung der in der EMF-Richtlinie angegebenen Expositionsgrenzwerte, können die internen Dosisgrößen direkt untersucht werden.

D.1.3.4 Bewertung der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte

Damit die für den Vergleich mit den Expositionsgrenzwerten erforderlichen Dosisgrößen im Körper berechnet werden können, werden eine Darstellung des menschlichen Körpers, ein numerisches Verfahren zur Simulation der Wechselwirkung des elektromagnetischen Feldes mit biologischem Gewebe sowie eine Darstellung der Quelle des elektromagnetischen Feldes benötigt.

Menschmodell

Wenn der menschliche Körper elektromagnetischen Feldern ausgesetzt ist, kann er als Empfangsantenne betrachtet werden. Deshalb sind die anatomischen, geometrischen und elektrischen Eigenschaften des Körpers extrem wichtig, wenn untersucht werden soll, ob die Expositionsgrenzwerte eingehalten werden.

Früher wurde der Körper zur Bewertung der internen Dosisgrößen durch einfache homogene Strukturen wie Kugeln, Sphäroide, Zylinder, Scheiben und Würfel ersetzt. Für diese homogenen Formen wird ein einzelner Wert für die elektrische Leitfähigkeit und die Permittivität verwendet, der den Durchschnittswert für den ganzen Körper repräsentiert und nicht frequenzabhängig ist. Die Verwendung solcher einfacher Strukturen erleichtert die numerische Simulation einer Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern. Allerdings sind die Ergebnisse derartiger Verfahren ungenau und führen zu einer erheblichen Überschätzung der tatsächlichen Exposition.

Abbildung D5 Menschmodell: Beispiel für ein heterogenes, anatomisch realistisches männliches Modell. Dargestellt sind das Skelett und die inneren Organe (linkes Bild), die Muskelschicht (mittleres Bild) und die Hautschicht (rechtes Bild)



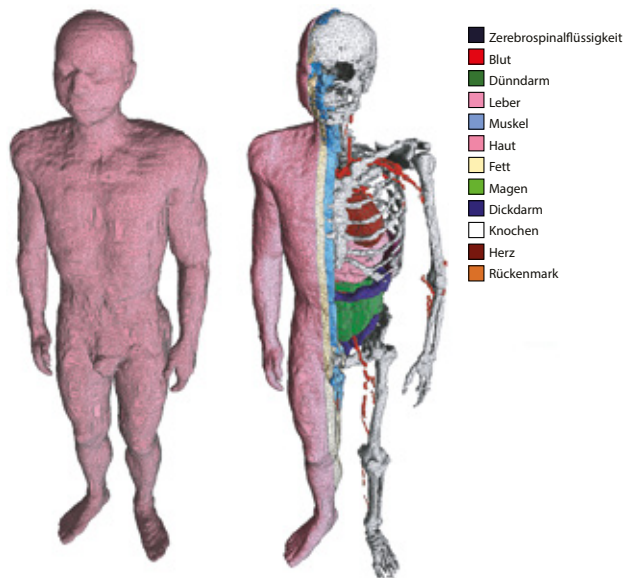
Es wird empfohlen, für die Bewertung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern heterogene, anatomisch realistische Modelle des menschlichen Körpers zu verwenden. Gegenwärtig bieten eine Reihe von Organisationen vielfältige heterogene Modelle des menschlichen Körpers (männlich, weiblich, schwanger, in verschiedenen Körperhaltungen usw.) an, die eine realistische Anatomie aufweisen und an denen zahlreiche Gewebe gekennzeichnet sind. Die Herstellung solcher Modelle ist aufwendig, deshalb fallen für ihre Verwendung normalerweise Kosten an. Da die verschiedenen verfügbaren Modelle sich zwangsläufig unterscheiden, weichen auch die Ergebnisse sicherlich geringfügig ab.

Anatomisch realistische Modelle werden in der Regel durch die computerunterstützte Segmentierung der von Magnetresonanzbildern des Körpers stammenden Daten in verschiedene Gewebearten entwickelt. Dabei wird besonderer Wert auf die anatomisch realistische Darstellung der Modelle gelegt. Die Abbildungen D5 und D6 zeigen Beispiele eines heterogenen Modells eines männlichen Erwachsenen. Üblicherweise bestehen solche Modelle aus über 30 unterscheidbaren Geweben und Organen. Das Modell kann voxelbasiert (auf Volumenpixeln oder Volumeneinheiten basiert) oder oberflächenbasiert sein.

Bei Simulationen, die numerische Verfahren wie die Finite-Differenzen-Methode im Zeitbereich verwenden, wird das Körpermodell typischerweise durch kubische Zellen (Voxel) mit einer Größe von 1 bis 2 mm dargestellt. Den Voxeln werden Werte für die elektrische Leitfähigkeit und die Permittivität zugewiesen, die auf den für die verschiedenen Organe und Gewebe gemessenen Werten beruhen.

Zur Berechnung der Dosisgrößen in den gezeigten Menschmodellen müssen die dielektrischen Eigenschaften der Gewebe angegeben werden, aus denen die Modelle bestehen. Wenn angenommen wird, dass verschiedene Gewebe weitgehend homogen sind, lassen sich die elektrischen Eigenschaften durch zwei Parameter beschreiben: die elektrische Leitfähigkeit (σ) und die Permittivität (ϵ). Bei biologischem Gewebe ändern sich diese Eigenschaften je nach Frequenz. Bei steigender Frequenz erhöht sich die elektrische Leitfähigkeit eines Gewebes, während sich seine Permittivität verringert.

Abbildung D6 Menschmodell: Schnittbild eines heterogenen Menschmodells, das bestimmte Gewebearten zeigt



Die dielektrischen Eigenschaften sind je nach Gewebe sehr unterschiedlich (siehe <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/>). Gewebe mit einem hohen Wasseranteil, z. B. Körperflüssigkeiten, zeigen bei Frequenzen unter 100 kHz nahezu keine Frequenzabhängigkeit. Der Anteil von Wasser oder Flüssigkeit in einem menschlichen Gewebe ist für die dielektrischen Eigenschaften und deren Änderung mit der Frequenz ausschlaggebend. Demzufolge können Gewebe, die bei der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern ein ähnliches Verhalten zeigen, gemäß ihrem Wassergehalt in Gruppen eingeteilt werden. Beispielsweise ist der Wassergehalt des Blutes und der Zerebrospinalflüssigkeit hoch, deshalb leiten diese beiden Gewebearten den Strom recht gut. Lunge, Haut und Fett sind relativ schlechte elektrische Leiter, während Leber, Milz und Muskeln eine mittlere elektrische Leitfähigkeit besitzen.

Numerische Verfahren

Zur Bestimmung der Absorption elektromagnetischer Felder in heterogenen, anatomisch realistischen Menschmodellen können verschiedene numerische Verfahren verwendet werden. Aufgrund der äußerst heterogenen elektrischen Eigenschaften des menschlichen Körpers sowie der komplexen Formen der inneren und äußeren Organe sind jedoch nur wenige numerische Verfahren geeignet.

Zu den Verfahren, die bei der hochauflösenden Dosimetrie von elektromagnetischen Feldern erfolgreich eingesetzt wurden, zählen die Finite-Differenzen-Methode (FD) im Frequenzbereich und im Zeitbereich (FDTD), die Finite-Elemente-Methode (FEM) und die Methode der Finiten Integration (FIT).

Diese Methoden führen zu einer direkten Lösung der Maxwell-Gleichungen. Sie unterteilen das Rechengebiet in ein 3D-Gitter mit Zellen oder Oberflächen, denen individuelle elektrische Eigenschaften zugewiesen werden. Bei den Finite-Differenzen-Methoden führt der numerische Code zeitliche und räumliche Iterationen durch und wertet die Feldwerte in jeder Zelle aus, bis eine Annäherung an die Lösung erzielt wird.

Jede Methode hat ihre Vor- und Nachteile. Sämtliche Methoden sowie einige numerische Codes wurden einer eingehenden Verifizierung durch den Vergleich mit analytischen Lösungen und experimentellen Ergebnissen unterzogen, um sicherzustellen, dass die durch diese Verfahren erhaltenen Ergebnisse für eine große Zahl unterschiedlicher Situationen, in denen Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern auftreten, repräsentativ sind.

D.1.3.5 Bestimmung von Mittelwerten: 99. Perzentil des induzierten elektrischen Feldes, mittlere Ganzkörper-SAR und lokale SAR

99. Perzentil des induzierten elektrischen Feldes

Zur Begrenzung der schädlichen Auswirkungen der im Arbeitnehmer induzierten elektrischen Felder in situ ist es wichtig, den Bereich zu definieren, über den das elektrische Feld in situ gemittelt wird. Als praktischer Kompromiss, der den Anforderungen für eine fundierte biologische Basis und den rechnerischen Beschränkungen Rechnung trägt, wird empfohlen, das elektrische Feld in situ als Vektordurchschnitt des elektrischen Feldes in einem zusammenhängenden Gewebe mit einem kleinen Volumen von $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ zu bestimmen.

Häufig wird in numerischen Verfahren zur Berechnung der im Körper induzierten elektrischen Felder das Modell eines in Zellen oder Voxel aufgeteilten (diskretisierten) Menschen verwendet. Bei Verwendung eines Verfahrens, das keine Aufteilung in Zellen beinhaltet, ist im numerischen Code ein geeigneter Mittelungsalgorithmus zu erstellen, der das elektrische Feld in einem Volumen von $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ berechnet. Für ein gegebenes Gewebe ist das 99. Perzentil des elektrischen Feldes der maßgebliche Wert, der mit dem Expositionsgrenzwert zu vergleichen ist (ICNIRP 2010).

Mittlere Ganzkörper-SAR

Der Expositionsgrenzwert für die Ganzkörper-SAR dient zum Schutz vor Wärmewirkungen im ganzen Körper. Zur Berechnung der Ganzkörper-SAR werden die Absorptionsraten in allen Voxeln des Menschmodells summiert und anschließend durch die Körpermasse dividiert.

Lokale SAR

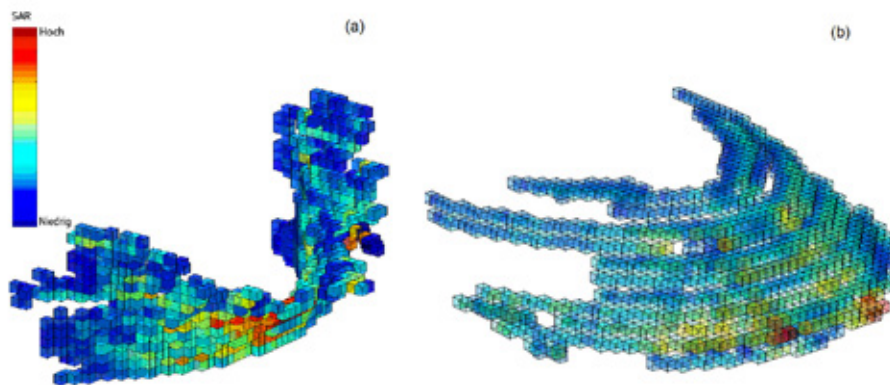
In der EMF-Richtlinie sind des Weiteren Expositionsgrenzwerte für die lokale SAR angegeben. Diese sollen vor lokalen Erwärmungen im menschlichen Körper schützen, insbesondere bei Expositionen gegenüber Quellen elektromagnetischer Strahlung im Nahbereich.

Zur Berechnung der lokalen SAR bei Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern von 100 kHz bis 6 GHz besagt die EMF-Richtlinie, dass als zu mittelnde Gewebemasse 10 g eines beliebigen zusammenhängenden Gewebes zu verwenden ist. Die Exposition ist auf der Grundlage des maximalen lokalen SAR-Werts im Körper abzuschätzen.

Die Berechnung der lokalen SAR über 10 g einer zusammenhängenden Region kann beispielsweise folgendermaßen ablaufen. In einem horizontalen Abschnitt des Menschmodells wird eine Zelle mit der maximalen SAR gewählt. Anschließend wird eine Suche in den sechs benachbarten Zellen durchgeführt, die an die Kanten der ursprünglichen Zelle angrenzen, um die Zelle mit der höchsten Absorptionsrate zu ermitteln. Danach werden die Leistungen und Massen summiert. Im weiteren Verlauf werden die entsprechenden benachbarten Zellen auf der Oberfläche der ursprünglichen Zelle durchsucht, um eine zusammenhängende Region von Zellen zu erhalten, deren Masse 10 g entspricht. Für diese zusammenhängende Region wird dann die SAR berechnet. Für eine Voxelauflösung von 2 mm werden bei diesem Verfahren etwa 1 000 Zellen (je nach Dichte der Gewebeart) verwendet, da das Volumen jeder Zelle $0,008 \text{ cm}^3$ beträgt. Dieser Prozess wird für jeden horizontalen Abschnitt wiederholt, und letztendlich wird der SAR-Maximalwert für jede zusammenhängende Region im gesamten Menschmodell gewählt.

Abbildung D7 enthält Beispiele für eine lokale SAR, die über 10 g einer zusammenhängenden Region gemittelt wurde. Die Abbildung zeigt die SAR-Spitzenwerte über 10 g zusammenhängende Regionen, die in einem Menschmodell berechnet wurden, das einem elektromagnetischen Feld in Form einer ebenen Welle mit 100 MHz und mit 3,4 GHz ausgesetzt wurde.

Abbildung D7 Zusammenhängende Regionen: über 10 g
zusammenhängende Regionen gemittelte SAR in einem Menschmodell,
das einem elektromagnetischen Feld mit (a) 100 MHz und (b) 3,4 GHz
ausgesetzt wurde. Die Farbkarte reicht von Dunkelblau (niedrige SAR) bis
Dunkelrot (hohe SAR)



D.2 Nachweis der Konformität bei ungleichmäßigen Expositionen

D.2.1 Einführung

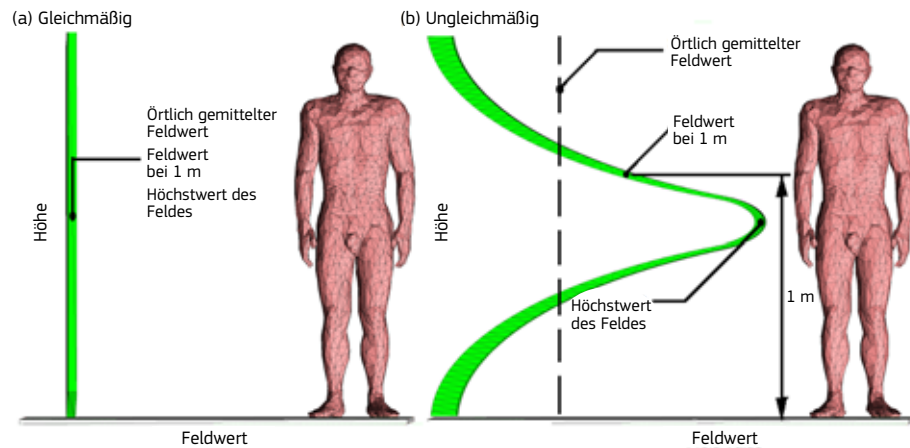
Die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern kann entweder gleichmäßig oder ungleichmäßig sein. Bei hohen Frequenzen ist ein gleichmäßiges elektromagnetisches Feld definiert als eine Welle, die sich in dem Maße ausbreitet, dass sie in jedem Punkt der senkrecht zu ihrer Ausbreitungsrichtung stehenden Fläche allem Anschein nach dieselbe Amplitude hat. Beim gleichmäßigen Feld handelt es sich um einen Idealfall, bei dem die Welle als eine sich insgesamt in eine einzige Richtung ausbreitende Welle erklärt werden kann. Bei niedrigen Frequenzen ist ein gleichmäßiges Feld ein Feld, das innerhalb eines gegebenen Volumens gleich ist, beispielsweise ein elektrisches Feld zwischen zwei unendlichen parallelen Platten.

Der Feldwert zur Bewertung der Einhaltung der Auslöseschwellen kann für ein gleichmäßiges elektromagnetisches Feld leicht bestimmt werden, da der Wert entlang einer zur Ausbreitungsrichtung der Welle senkrecht stehenden Linie gleich ist (Abbildung D8).

Bei einem gleichmäßigen oder relativ gleichmäßigen Feld (mit einer Toleranz von 20 %) dieser Art genügt es in der Regel, das Feld an nur einer Stelle in dem vom Arbeitnehmer eingenommenen Raum zu messen.

Bei Geräten, die elektromagnetische Strahlungen erzeugen, ist eine ungleichmäßige Exposition über die Höhe des Körpers möglich, wenn sich das Gerät in der Nähe einer Person oder in einer Umgebung befindet, in der sich das erzeugte Feld aufgrund der Bodenreflexionen bzw. Streuung durch in der Nähe befindliche Gegenstände ändern kann.

Abbildung D8 Beispiele für eine gleichmäßige und eine ungleichmäßige Exposition: Feldänderung mit zunehmendem Abstand von der Erde für (a) ein gleichmäßiges Feld und (b) einen typischen Dipol. Angegeben sind der örtlich gemittelte Feldwert, der Höchstwert des Feldes und der Feldwert bei 1 m



Die Bestimmung eines einzelnen Feldwerts für den Vergleich mit den Auslöseschwellen ist nicht einfach, wenn sich das Feld in dem vom Arbeitnehmer eingenommenen Bereich erheblich ändert. In einer solchen Expositionssituation kann der Höchstwert des Feldes am Standort des Körpers des Arbeitnehmers verwendet werden. Dadurch ergibt sich allerdings eine konservative Bewertung der Exposition. Von einigen Organisationen wurde die Verwendung eines einzelnen Feldwerts in einer Höhe von 1 m vorgeschlagen; dieser Wert ist jedoch oft nicht repräsentativ.

Bei diesen ungleichmäßigen Expositionen wird eine geeignete Methode für den Erhalt eines Einzelwerts für das Feld benötigt. Nach der EMF-Richtlinie ist in diesen Fällen eine örtliche Mittelung des Feldes möglich. Örtlich gemittelte Messungen oder Berechnungen sind empfehlenswert, da sie eine repräsentativere Angabe der Exposition in Situationen liefern, in denen sich das Feld entlang der Höhe des menschlichen Körpers ändert.

D.2.2 Hinweise zu ungleichmäßigen Expositionen

In der EMF-Richtlinie sind die Auslöseschwellen als Einzelwert für eine bestimmte Frequenz angegeben. Die Höhe dieser Auslöseschwellen ist so festgelegt, dass die Einhaltung des entsprechenden Expositionsgrenzwerts sichergestellt ist oder daraus hervorgeht, welche der in Artikel 5 aufgeführten Präventions- oder Schutzmaßnahmen ergriffen werden müssen.

Ist das Feld innerhalb des vom Arbeitnehmer eingenommenen Bereichs jedoch ungleichmäßig (wie in Abbildung D8 (b)), ändert sich die elektrische Feldstärke oder die magnetische Flussdichte je nach Standort, an dem das Feld gemessen wird. Es stellt sich hier die berechtigte Frage, welcher Einzelwert des Feldes für den Vergleich mit den Auslöseschwellen verwendet werden soll.

In der EMF-Richtlinie wird empfohlen, in diesen Expositionssituationen den Höchstwert des Feldes innerhalb des maßgeblichen Raums zu verwenden oder eine örtliche Mittelung vorzunehmen. Im Fall einer räumlich stark begrenzten Quelle in unmittelbarer Nähe zum Körper ist die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte dosimetrisch zu bestimmen.

In der EMF-Richtlinie ist in dem auf nichtthermische Wirkungen bezogenen Anhang II in den Anmerkungen B1-3 und B2-3 diesbezüglich Folgendes angegeben:

„Die Auslöseschwellen stellen die am Standort des Körpers des Arbeitnehmers berechneten oder gemessenen Höchstwerte dar. Dadurch ergibt sich für alle ungleichmäßigen Expositionsbedingungen eine konservative Bewertung der Exposition

und die automatische Einhaltung der Expositionsgrenzwerte. Zur Vereinfachung der gemäß Artikel 4 durchzuführenden Bewertung der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte im Fall spezifischer ungleichmäßiger Bedingungen werden in den in Artikel 14 genannten Leitfäden Kriterien für die örtliche Mittelung der gemessenen Felder nach anerkannten Dosimetrieverfahren festgelegt. Bei einer räumlich stark begrenzten Quelle im Abstand von einigen Zentimetern von einem Körper wird das induzierte elektrische Feld im Einzelfall dosimetrisch ermittelt.“

Anmerkung B1-3 in dem auf thermische Wirkungen bezogenen Anhang III der EMF-Richtlinie besagt Folgendes:

„Die Auslöseschwelle (E) und die Auslöseschwelle (B) stellen die am Standort des Körpers des Arbeitnehmers berechneten oder gemessenen Höchstwerte dar. Dadurch ergibt sich für alle ungleichmäßigen Expositionsbedingungen eine konservative Bewertung der Exposition und die automatische Einhaltung der Expositionsgrenzwerte. Zur Vereinfachung der gemäß Artikel 4 durchzuführenden Bewertung der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte im Falle spezifischer ungleichmäßiger Bedingungen werden in den in Artikel 14 genannten Leitfäden Kriterien für die örtliche Mittelung der gemessenen Felder nach anerkannten Dosimetrieverfahren festgelegt. Im Fall einer lokal räumlich stark begrenzten Quelle im Abstand von einigen Zentimetern von einem Körper wird die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte im Einzelfall dosimetrisch ermittelt.“

D.2.2.1 Höchstwert des Feldes

Die Verwendung des Höchstwerts des Feldes ist der einfachste Weg zur Bewertung der Konformität mit den in der EMF-Richtlinie festgelegten Grenzwerten. Diese Methode liefert aber die konservativste Einschätzung der Exposition eines Arbeitnehmers. Es wird keine örtliche Mittelung der Werte durchgeführt. Die Messung oder Berechnung des ungestörten Feldes (d. h., der Arbeitnehmer befindet sich nicht innerhalb des Feldes) erfolgt in dem vom Arbeitnehmer eingenommenen Bereich an der Stelle, an der das Feld seinen höchsten Wert hat. Das Feld wird unter der Bedingung bewertet, dass der Arbeitnehmer nicht anwesend ist, da die Anwesenheit einer Person den Feldwert in bestimmten Expositionssituationen verfälschen kann. Es ist zu beachten, dass bei niedrigen Frequenzen nur das elektrische Feld durch die Anwesenheit einer Person gestört wird. Der Mensch ist nicht magnetisch, daher sind die induzierten Ströme nicht ausreichend hoch, um das Feld zu stören.

In ihren Leitlinien 2010 äußert sich die ICNIRP im Abschnitt über die örtliche Mittelung externer elektrischer und magnetischer Felder wie folgt:

Für Expositionssituationen, in denen die Änderung des elektrischen oder magnetischen Feldes innerhalb des vom Körper eingenommenen Raumes relativ gering ist, wurden Referenzwerte festgelegt. In den meisten Fällen ist jedoch der Abstand zur Feldquelle so gering, dass die Feldverteilung ungleichmäßig oder lokal auf einen kleinen Teil des Körpers begrenzt ist. In diesen Fällen ergibt sich aus der Messung der maximalen Feldstärke an der Position des vom Körper eingenommenen Raumes stets eine äußerst konservative und damit sichere Bewertung der Exposition.

D.2.2.2 Örtliche Mittelung

Eine örtliche Mittelung des Feldes bei einer ungleichmäßigen Exposition kann auf viele unterschiedliche Arten durchgeführt werden. Drei häufig verwendete Methoden (um die Komplexität in Grenzen zu halten) sind die örtliche Mittelung des Feldes über

- einen vom Arbeitnehmer oder einem Teil seines Körpers eingenommenen Raum;
- eine vom Arbeitnehmer oder einem Teil seines Körpers belegte Querschnittsfläche;
- eine Linie in dem vom Arbeitnehmer oder einem Teil seines Körpers eingenommenen Bereich.

Einzelheiten zu diesen Methoden sind in vielen internationalen Normen und Leitlinien zu finden, z. B. IEEE C95.3 (2002), CENELEC EN 50357 (2001), IEC 62226 (2001), IEC 62233 (2005), IEC 62110 (2009). Je komplexer das Mittelungsverfahren ist, desto zuverlässiger sind die Näherungswerte für das ungleichmäßige Feld. Jedoch wird eingeräumt, dass die Bestimmung der Feldwerte über einen projizierten Raum oder Bereich sich für die Bewertung der Einhaltung von Grenzwerten als schwierig erweisen kann, da diese Verfahren viele Abtastpunkte erfordern. Mit Methoden zur Mittelung des Feldes über eine Linie kann ein ungleichmäßiges Feld relativ gut dargestellt werden, weshalb diese Methoden in den folgenden Abschnitten empfohlen werden.

(a) Exposition gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern zwischen 1 Hz und 10 MHz

Die örtlich gemittelten Werte der elektrischen Feldstärke (E_{avg}) oder der magnetischen Flussdichte (B_{avg}) sind durch folgende Gleichungen zu berechnen:

$$E_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad \text{(Gleichung 1)}$$

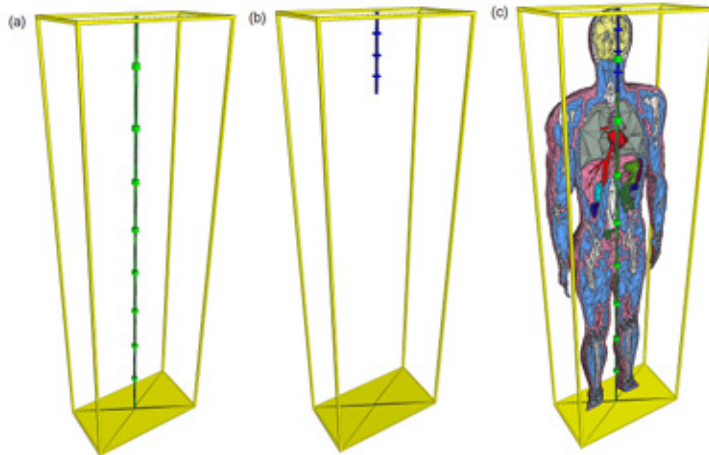
$$B_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i \quad \text{(Gleichung 2)}$$

Wobei gilt: n ist die Anzahl der Orte; E_i und B_i sind die elektrische Feldstärke bzw. die magnetische Flussdichte, gemessen am i -ten Ort.

Die Position der Linie, über die das Feld zu mitteln ist, hängt davon ab, ob der resultierende örtlich gemittelte Wert mit einer niedrigen Auslöseschwelle, einer hohen Auslöseschwelle oder einer Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen verglichen werden soll. Die hohen Auslöseschwellen sollen die peripheren Nerven im Kopf und im Rumpf vor einer Stimulation schützen. Wenn der Wert E_{avg} oder B_{avg} mit der hohen Auslöseschwelle verglichen werden soll, genügt somit in der Regel eine einfache lineare Abtastung der Felder über die Höhe des Kopfes und des Rumpfes durch den Mittelpunkt der projizierten Fläche. Die niedrigen Auslöseschwellen stellen einen Schutz vor sensorischen Wirkungen im zentralen Nervensystem im Kopf dar. Wenn der Wert E_{avg} oder B_{avg} mit der niedrigen Auslöseschwelle verglichen werden soll, ist somit eine einfache lineare Abtastung der Felder über die Höhe des Kopfes durch den Mittelpunkt der projizierten Fläche normalerweise ausreichend. Die angegebenen Auslöseschwellen für die Exposition von Gliedmaßen sollen vor Nervenstimulationen in den Gliedmaßen schützen. Wenn der Wert B_{avg} mit der niedrigen Auslöseschwelle verglichen werden soll, genügt somit in der Regel eine einfache lineare Abtastung der Felder über die Höhe der Gliedmaße durch den Mittelpunkt der projizierten Fläche.

Für die örtliche Mittelung eines Feldes über den Kopf, über Kopf und Rumpf oder über bestimmte Regionen von Gliedmaßen reicht in der Regel eine Messreihe aus mindestens drei in einem konstanten Abstand durchgeführten Messungen aus. Weitere Feldmessungen, die beispielsweise durch Protokollfunktionen oder automatische Funktionen zur örtlichen Mittelung erhalten werden, sind akzeptabel und liefern mehr Details zur räumlichen Verteilung des Feldes.

Abbildung D9 (a) Örtliche Mittelung des Feldes über eine vertikale Linie in dem vom Arbeitnehmer eingenommenen Bereich, (b) örtliche Mittelung des Feldes über eine vertikale Linie in dem vom Kopf des Arbeitnehmers eingenommenen Bereich und (c) Mittelungspunkte mit einem Schnittbild des im Feld anwesenden Arbeitnehmers



(b) Exposition gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern zwischen 100 kHz und 300 GHz

Die örtlich gemittelten Werte der elektrischen Feldstärke (E_{avg}), der magnetischen Flussdichte (B_{avg}) und der Leistungsdichte (W_{avg}) sind durch folgende Gleichungen zu berechnen:

$$E_{avg} = \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\sum_{i=1}^n E_i^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{(Gleichung 3)}$$

$$B_{avg} = \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\sum_{i=1}^n B_i^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{(Gleichung 4)}$$

$$W_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{(Gleichung 5)}$$

Wobei gilt: n ist die Anzahl der Orte; E_i , B_i und W_i sind die elektrische Feldstärke, die magnetische Flussdichte bzw. die Leistungsdichte, gemessen am i -ten Ort.

Die Auslöseschwellen für Expositionen gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern zwischen 100 kHz und 300 GHz schützen vor gesundheitsschädlichen Wirkungen infolge der Erwärmung im Inneren des Körpers. Wenn der Wert E_{avg} oder B_{avg} mit der Auslöseschwelle für thermische Wirkungen verglichen werden soll, genügt somit eine einfache lineare Abtastung der Felder, die mit konstantem Abstand über eine vertikale Linie vom Erdboden bis zu einer Höhe von 2 m durch den Mittelpunkt der projizierten Fläche vorgenommen wird.

Für die örtliche Mittelung eines Feldes über die Höhe des Arbeitnehmers reicht in der Mehrzahl der Expositionssituationen in der Regel eine Messreihe aus mindestens zehn in einem konstanten Abstand durchgeführten Messungen aus. Die Orte, an denen die Feldstärke gemessen wird, sind in Abbildung D9 (a) als kleine grüne Würfel dargestellt. Weitere Feldstärkemessungen, die beispielsweise durch Protokollfunktionen oder automatische Funktionen zur örtlichen Mittelung erhalten werden, sind akzeptabel und liefern mehr Details zur räumlichen Verteilung des Feldes.

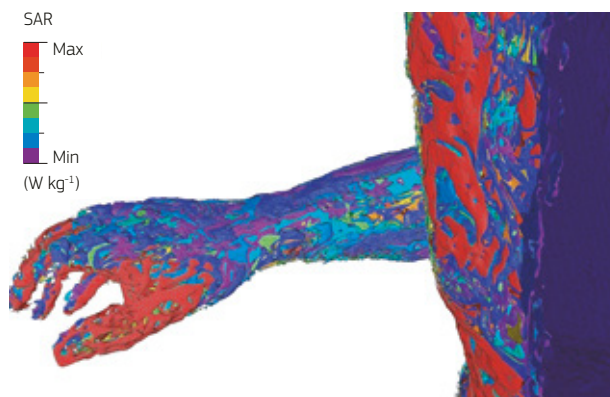
Bei Messungen in diesen Situationen sollten die Feldsensoren einen Abstand von mindestens 0,2 m zu einem Gegenstand oder einer Person haben, um Feldkopplungseffekte zu vermeiden. Es ist zu beachten, dass die örtlich gemittelten Werte ebenfalls von den örtlichen Eigenschaften der Hochfrequenzfelder in Bezug auf die Körperhaltung des exponierten Arbeitnehmers abhängen.

D.2.2.3 Dosimetrische Bewertung für den direkten Vergleich der Feldwerte mit den Expositionsgrenzwerten

Bei einem Abstand der Quelle des elektromagnetischen Feldes von wenigen Zentimetern zu einem Körper wird in der EMF-Richtlinie empfohlen, die Einhaltung der Vorschriften dosimetrisch zu bestimmen, um einen direkten Vergleich mit den Expositionsgrenzwerten zu ermöglichen.

Die bei niedrigen Frequenzen im Körper induzierten elektrischen Felder oder die spezifische Energieabsorptionsrate (SAR) und die Leistungsdichte bei hohen Frequenzen können nur mithilfe numerischer Berechnungen exakt bestimmt werden. Das Verfahren zur Berechnung der internen Dosisgrößen wurde bereits weiter oben in diesem Anhang beschrieben. Abbildung D10 zeigt ein Beispiel für eine dosimetrische Bewertung mithilfe numerischer Berechnungen.

Abbildung D10 Bestimmung der Dosisgrößen, in diesem Fall die SAR in der Hand und im Rumpf infolge der Exposition gegenüber einem nicht abgeschirmten Kabel, für den direkten Vergleich mit den Expositionsgrenzwerten. In der EMF-Richtlinie wird diese Methode empfohlen, um die Einhaltung der Anforderungen bei räumlich stark begrenzten Quellen elektromagnetischer Felder in einem Abstand von wenigen Zentimetern zum Körper nachzuweisen



D.2.2.3.1 Zugrunde liegende dosimetrische Konzepte

Das Konzept und die Genauigkeit von Techniken zur Bewertung ungleichmäßiger Expositionen lassen sich anhand von Beispielen untersuchen.

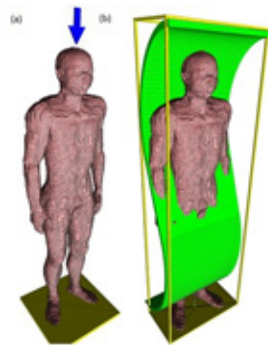
(a) Beispiel 1: Örtliche Mittelung des Feldes infolge der Exposition gegenüber einer reflektierten ebenen Welle

Bei der Überlagerung einer reflektierten elektromagnetischen Welle mit einer eingehenden Welle entsteht eine stehende Welle. An manchen Orten hebt sich das elektrische Feld auf, während es an den Wellenbäuchen der stehenden Welle verdoppelt wird. Diese Situation ist in Abbildung D11 dargestellt.

Hier ist ein Arbeitnehmer einem von oben kommenden horizontal polarisierten Feld ausgesetzt, wobei das Feld von vorne nach hinten verläuft. Die Welle wird von der Fläche des leitfähigen Erdbodens zurück in den vom Arbeitnehmer eingenommenen Bereich reflektiert. Wenn in diesem Bereich nur eine einzelne Messung durchgeführt

würde, läge der erhaltene Wert zwischen null und dem Höchstwert des Feldes. Somit ist es sehr wahrscheinlich, dass dieser für das Feld gemessene Einzelwert kein repräsentativer Wert für die Exposition wäre. Abbildung D12 zeigt das Ergebnis der Exposition des Arbeitnehmers gegenüber dieser stehenden Welle bei 200 MHz. Es ist zu erkennen, dass sich der Ort der Absorption hauptsächlich durch die Position der Bäuche und Täler der stehenden Welle bestimmt.

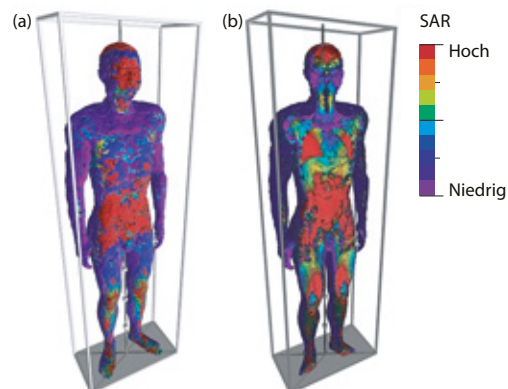
Abbildung D11 Beispiel 1: Menschmodell bei der Exposition gegenüber einem elektromagnetischen Feld, das zurück in den vom Modell eingenommenen Bereich reflektiert wird. Dieser Bereich ist durch einen gelben Kasten dargestellt. Die stehende Welle ist grün dargestellt



$$E_{spa} = \left[\frac{\int E^2(z) dz}{\int dz} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{(Gleichung 6)}$$

Das Integral in Gleichung 6 gibt eine präzise Antwort auf den linear gemittelten Feldwert in dem vom Arbeitnehmer eingenommenen Bereich.

Abbildung D12 Beispiel 1: Grafische Darstellung der SAR. SAR-Verteilungen (a) im ganzen Körper und (b) in Abschnitten eines Menschmodells bei Exposition gegenüber einem horizontal polarisierten elektrischen Feld, das von vorne nach hinten verläuft, Befeldung durch eine ebene Welle von oben bei 200 MHz, bei geerdetem Menschmodell



Da eine endliche Anzahl von Messungen zur Berechnung des örtlich gemittelten Feldes verwendet wird, ist davon auszugehen, dass sich dieser Wert mit zunehmender Anzahl von Messungen immer mehr der durch das Integral berechneten exakten Lösung annähert. Diese Annahme gilt allgemein; für die Bewertung der Einhaltung der Anforderungen sind etwa zehn Messungen ausreichend. Die Differenz zwischen dem exakten Wert des örtlich gemittelten elektrischen Feldes und dem unter Verwendung

von x Messungen berechneten Wert ist normalerweise gering, auch wenn nur wenige Messungen zur Berechnung herangezogen werden. Eine Ausnahme hierbei besteht dann, wenn sich der Knoten einer stehenden Welle in der Nähe eines gemessenen Werts befindet.

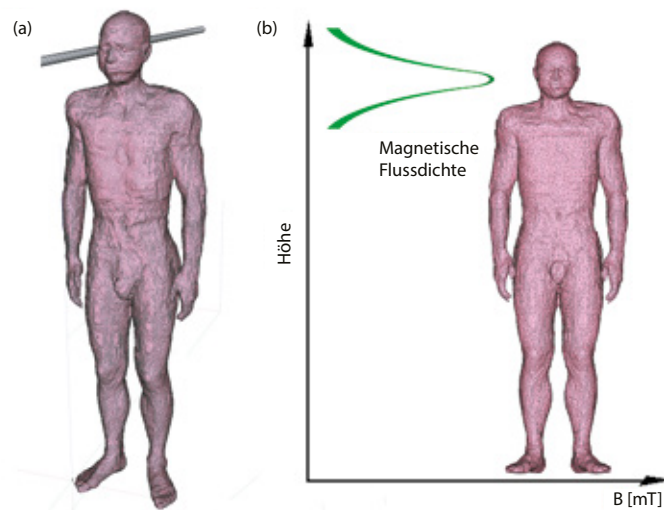
Auch wenn das örtlich gemittelte Feld durch zehn Messungen wiedergegeben werden kann, führen mehr Messungen zu einem genaueren Wert dieses Feldes. Da durch eine größere Anzahl von Messungen eindeutig ein höherer Genauigkeitsgrad erzielt wird, wird die Verwendung moderner Aufzeichnungsgeräte empfohlen (sofern verfügbar), die über die Länge des Körpers etwa 200 bis 300 Messungen durchführen können (wenn sich z. B. der Messfühler in 10 Sekunden mit einer Aufzeichnungsrate von 32 Datenpunkten pro Sekunde bewegt, werden 320 Messungen erhalten).

Befindet sich die Quelle eines elektromagnetischen Feldes nahe am Körper, kann das Feld in dem vom Körper eingenommenen Bereich ungleichmäßig sein. Ein Beispiel hierfür ist ein in der Nähe des Kopfes verlaufendes Kabel (Abbildung D13).

(b) Beispiel 2: Örtliche Mittelung des Feldes infolge der Exposition gegenüber einem 50-Hz-Kabel

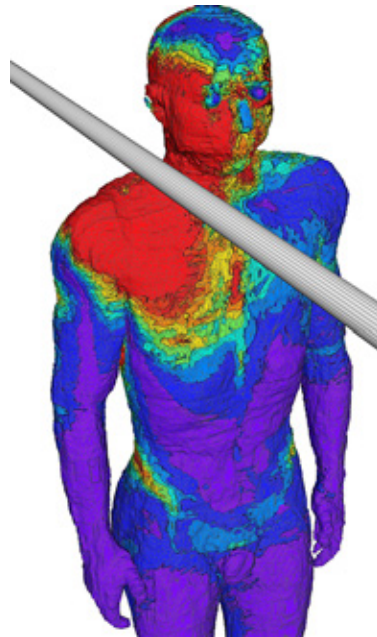
Abbildung D14 zeigt die Verteilung eines induzierten elektrischen Feldes im Falle eines geraden Kabels mit 50 Hz, das nahe am Kopf verläuft. Wie zu erkennen ist, ist die Absorption des elektromagnetischen Feldes im Großen und Ganzen lokal auf den Kopf und die Schulterregion beschränkt.

Abbildung D13 Beispiel 2: (a) einem geraden Kabel ausgesetztes Menschmodell, (b) Änderung des erzeugten Feldes mit der Höhe



Forschungen haben gezeigt, dass die Empfehlung von drei Messungen bei extrem niedrigen Frequenzen (ELF-Bereich) für lokale Quellen ausreichend ist. Die Differenz zwischen der Verwendung von drei Messpunkten im Kopfbereich und einer unendlichen Anzahl von Messpunkten beträgt bei diesem Beispiel mit 50 Hz etwa 8 %. Diese Differenz kann natürlich verringert werden, falls dies gewünscht wird, indem mehr Messungen über eine vertikale Linie in konstantem Abstand durchgeführt werden.

Abbildung D14 Beispiel 2: Verteilung des induzierten elektrischen Feldes bei Exposition gegenüber einem nah am Kopf verlaufenden 50-Hz-Kabel



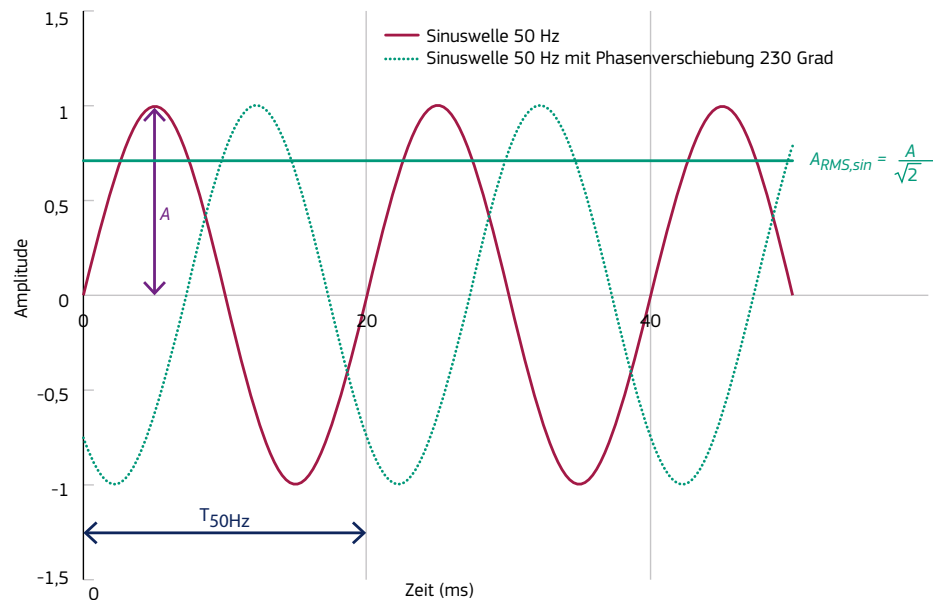
Wichtig: Örtliche Mittelung

Zur Berechnung von örtlich gemittelten Werten sind bei Expositionen im Niederfrequenzbereich drei Messpunkte und bei Expositionen im Hochfrequenzbereich zehn Messpunkte in der Regel ausreichend. Die Verbesserung der Genauigkeit verringert sich mit jedem weiteren Messpunkt, sodass generell nicht mehr als zehn Punkte zur Berechnung des gemittelten Wertes verwendet werden müssen. Wenn die örtliche Mittelung über eine Linie in einer bestimmten Expositionssituation schwierig ist, sollte ein für die Feldstärke gemessener einzelner Höchstwert verwendet werden.

D.3 Bewertung der Exposition gegenüber Feldern mit mehreren Frequenzen

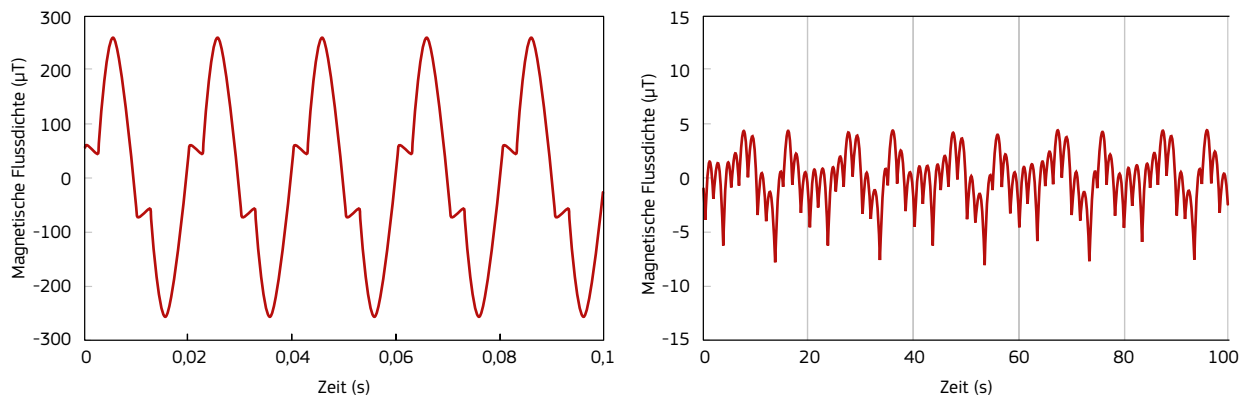
Wie in Kapitel 3 und in Anhang A bereits beschrieben, erzeugen externe zeitvariable elektrische und magnetische Felder im Niederfrequenzbereich interne elektrische Felder. Die zeitliche Änderung des Feldes wird durch seine Wellenform beschrieben. Bei einem externen Feld in Form einer einfachen Sinuswelle (Abbildung D15) ist das im Körper induzierte elektrische Feld zur Amplitude und zur Frequenz des externen Feldes proportional.

Abbildung D15 Sinuswelle von 50 Hz. Sinuswellen sind periodische Wellen und haben eine Frequenz f gleich $1/T$, wobei T die Schwingungsdauer (auch Periodendauer genannt) der Welle ist (z. B. ist für eine Sinuswelle von 50 Hz $T = 20$ ms). Der Effektivwert (RMS-Wert) einer Sinuswelle wird durch die Spitzenamplitude dividiert durch $\sqrt{2}$ angegeben. Die Phasenverschiebung der Sinuswelle ist ihre Verschiebung entlang der Zeitachse



Quellen elektrischer und magnetischer Felder unter 10 MHz zeigen häufig Wellenformen, die (bisweilen erheblich) von einer idealen Sinuswelle (Abbildung D15) abweichen, aber dennoch periodische Wellen sind (Abbildung D16), d. h., die Wellenform wiederholt sich im zeitlichen Verlauf. Diese Arten komplexer Wellenformen entsprechen der Summe einer Reihe von Sinuswellen unterschiedlicher Frequenzen, die als Spektralkomponenten bezeichnet werden. Diese Spektralkomponenten werden für eine bestimmte Wellenform jeweils durch eine Amplitude und eine Phase beschrieben. Zur Veranschaulichung kann eine Analogie herangezogen werden: Eine bestimmte Farbe lässt sich in verschiedene Anteile der Grundfarben (Rot, Grün und Blau) zerlegen. Die Farbe entspricht der Wellenform. Rot, Grün und Blau sind die Spektralkomponenten, und die Intensität jeder Grundfarbe ist die Amplitude der einzelnen Spektralkomponenten. Das Spektrum der Wellenform liefert die Spektraldaten (Frequenzen, Amplituden, Phasen) und wird in der Regel durch eine Fourier-Analyse der Wellenform oder durch direkte Messung mit einem Schmalbandmessgerät erhalten (wobei Letzteres unter Umständen keine Phasendaten liefert).

Abbildung D16 Beispiel für komplexe Wellenformen der magnetischen Flussdichte im Umkreis von Rissprüfungssystemen. Im rechten Bild wird die Periodizität von 20 ms durch senkrecht gestrichelte Linien dargestellt



D.3.1 Nichtthermische Wirkungen (> 1 Hz bis 10 MHz)

Die Einhaltung der Auslöseschwellen (und der Expositionsgrenzwerte) im Niederfrequenzbereich (unter 10 MHz) lässt sich auf unterschiedliche Weise bewerten, wobei einige Methoden konservativer, aber einfacher anzuwenden sind.



Wichtig: Bewertung der Exposition gegenüber Feldern mit mehreren Frequenzen

Die Methode gewichteter Spitzenwerte mit Gewichtung im Zeitbereich ist die in der EMF-Richtlinie empfohlene Referenzmethode. Allerdings können auch andere Methoden verwendet werden, sofern sie weitgehend gleiche (oder konservativere) Ergebnisse liefern, z. B. die in Abschnitt D3.1.2 beschriebene Summation von multifrequenten Feldern (Multifrequenzmethode, MFR).

D.3.1.1 Methode gewichteter Spitzenwerte

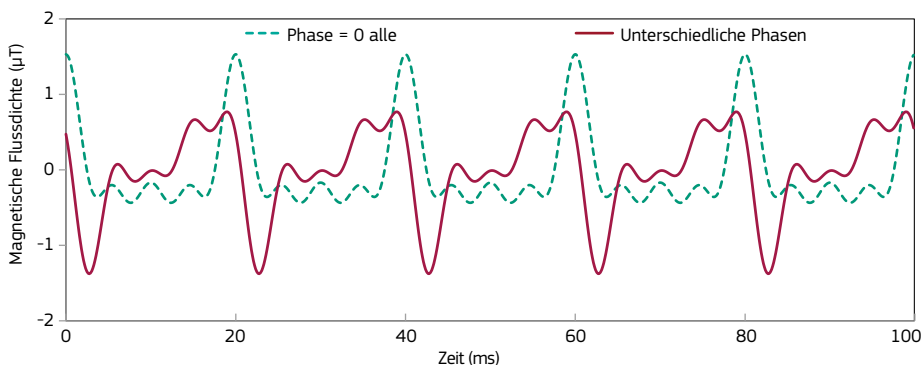
Bei der Methode gewichteter Spitzenwerte (Weighted Peak Method, WPM) werden sowohl die Amplitude als auch die Phasen der Spektralkomponenten, aus denen sich das Signal zusammensetzt, berücksichtigt (siehe Abbildung D17 für den Einfluss der Spektralphasen auf die Wellenform und den Expositionsindex). Die Bezeichnung „gewichtete Spitzenwerte“ dieser Methode rührt daher, dass die Wellenform entsprechend den frequenzabhängigen Auslöseschwellen gewichtet wird und die Spitzenamplitude der gewichteten Wellenform den Expositionsindex ergibt. Die Gewichtung (oder Filterung) kann entweder im Frequenzbereich oder im Zeitbereich erfolgen. Diese Methode eignet sich auch, um die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte für sensorische sowie für gesundheitliche Wirkungen zu bewerten.



Wichtig: Expositionsindex (EI)

Der Expositionsindex gibt die festgestellte Exposition dividiert durch den Grenzwert wieder. Ist der Expositionsindex kleiner als eins, wird der Grenzwert für die Exposition eingehalten.

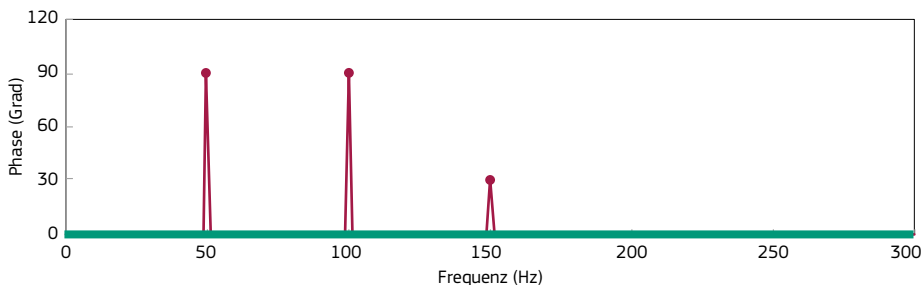
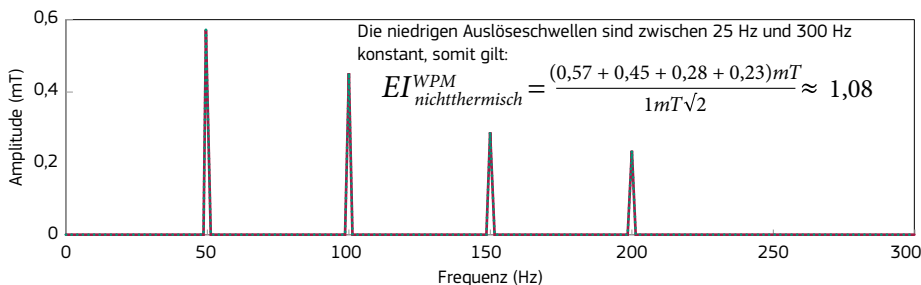
Abbildung D17 Beispiel für den Einfluss der Phasen von Spektralkomponenten auf die Wellenform (obere Grafik). Beide Wellen bestehen aus Cosinuswellen von 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz und 200 Hz (untere Grafik). Der einzige Unterschied zwischen den beiden Wellenformen ist, dass bei einer Wellenform alle Phasen der vier Spektralkomponenten auf 0 gesetzt wurden (grüne gestrichelte Linie), während bei der anderen Wellenform (rote durchgezogene Linie) die Phasen von drei Spektralkomponenten geändert wurden (mittlere Grafik)



Die niedrigen Auslöseschwellen sind zwischen 25 Hz und 300 Hz konstant, somit gilt für die niedrigen Auslöseschwellen:

Alle Phasen gleich 0: $EI_{nichtthermisch}^{WPM} = \frac{1,53mT}{1mT\sqrt{2}} \approx 1,08 \Rightarrow$ Nicht konform

Unterschiedliche Phasen: $EI_{nichtthermisch}^{WPM} = \frac{1,38mT}{1mT\sqrt{2}} \approx 0,97 \Rightarrow$ Konform

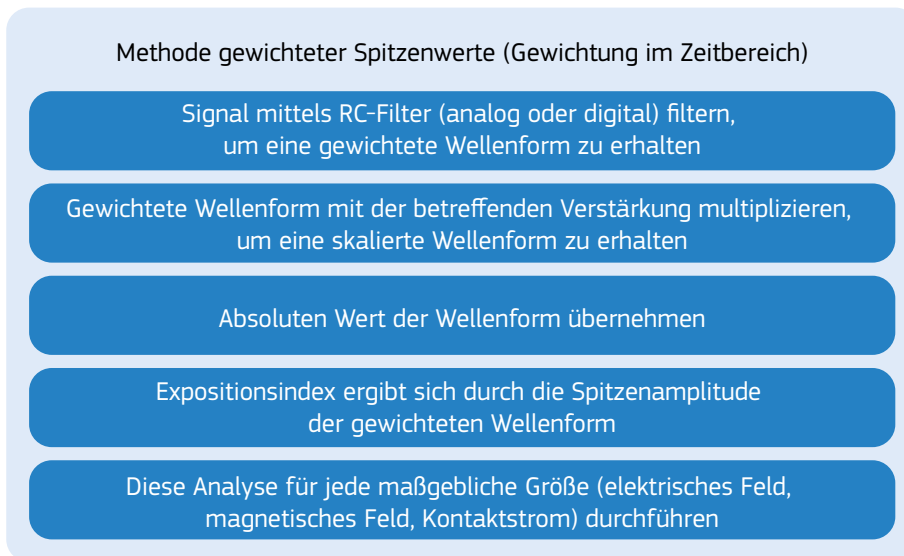


Methode gewichteter Spitzenwerte mit Gewichtung im Zeitbereich

Bei Anwendung der Methode gewichteter Spitzenwerte mit Gewichtung im Zeitbereich erfolgt die Gewichtung mithilfe von RC-Filtern mit frequenzabhängiger Verstärkung, welche die Amplituden- und Frequenzabhängigkeit der Auslöseschwellen widerspiegeln (Abbildung D18). Bei Verwendung von RC-Filtern gibt es gegenüber den in der EMF-

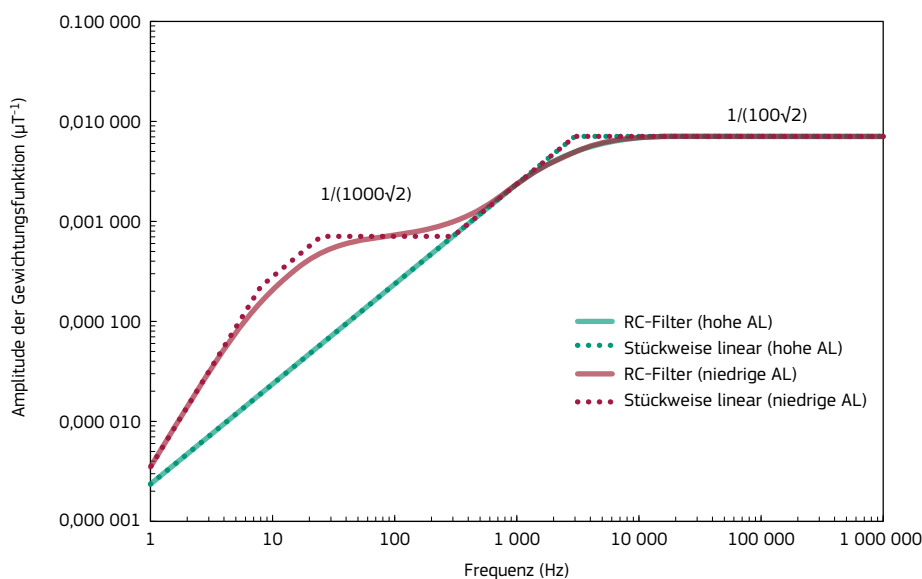
Richtlinie^(†) angegebenen stückweise linearen Werten einige geringfügige Abweichungen bei der Amplitude und der Phase des Filters (Abbildungen D19 und D20). RC-Filter zeigen aber ein realistischeres biologisches Verhalten, und diese Abweichungen werden von der ICNIRP als akzeptabel erachtet (ICNIRP 2010, Jokela 2000).

Abbildung D18 Berechnungsschritte für die Methode gewichteter Spitzenwerte mit Gewichtung im Zeitbereich



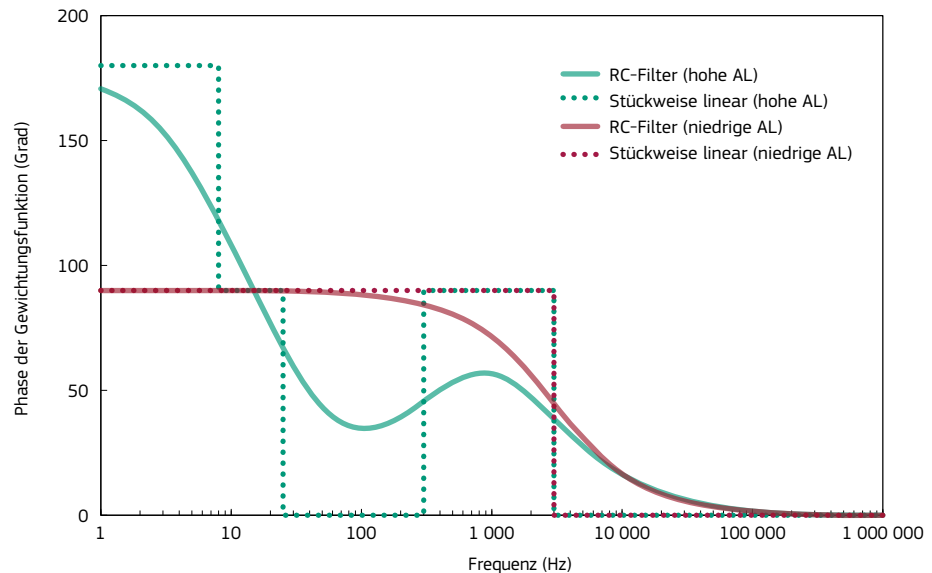
Die Gewichtung (Filterung) im Zeitbereich kann durch die Nachbearbeitung der gemessenen Wellenform erzielt werden oder auch digital, beispielsweise durch die Verwendung kommerzieller Geräte mit dieser Filterfunktion (diese Funktion ist als Shaped Time Domain (STD) bekannt). Bei Verwendung kommerzieller Geräte sollte der Benutzer sicherstellen, dass vom Gerät die maßgeblichen Auslöseschwellen angewendet werden (im Gegensatz zu anderen Standards oder Methoden zur Bestimmung der Exposition).

Abbildung D19 Amplitude der Gewichtungsfunktion für die Methode gewichteter Spitzenwerte: Stückweise lineare Werte im Frequenzbereich (wie im unten stehenden Unterabschnitt definiert) und Näherungswerte (RC-Filter) im Zeitbereich



^(†) Die stückweise Amplitude des Filters ergibt sich aus der Umkehrung der Auslöseschwelle, während die stückweise Phase des Filters durch Gleichung 7 erhalten wird.

Abbildung D20 Phase der Gewichtungsfunktion für die Methode gewichteter Spitzenwerte: Stückweise lineare Werte im Frequenzbereich (wie im unten stehenden Unterabschnitt definiert) und Näherungswerte (RC-Filter) im Zeitbereich



Methode gewichteter Spitzenwerte mit Gewichtung im Frequenzbereich

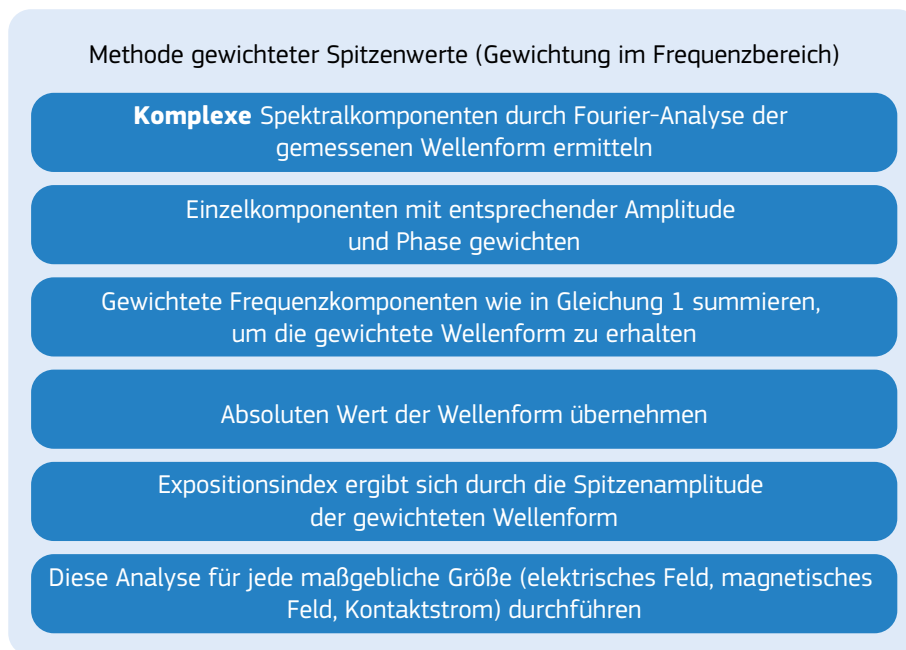
Die Schritte zur Anwendung der Methode gewichteter Spitzenwerte mit Gewichtung im Frequenzbereich sind in Abbildung D21 dargestellt; sie sind ebenfalls in den ICNIRP-Leitlinien 2010 (ICNIRP 2010) beschrieben. Zur Berechnung der gewichteten Wellenform wird die Amplitude jeder Spektralkomponente durch die betreffenden Auslöseschwellen (oder Expositionsgrenzwerte, wenn sich die betrachteten Amplituden auf interne elektrische Felder beziehen) dividiert, und zur Phase jeder Spektralkomponente wird die Phase φ_f addiert. Die gewichtete Spektralinformation wird anschließend wie folgt für den Zeitbereich umgerechnet:

$$EI_{\text{nichtthermisch}}^{\text{WP}} = \text{Maximum} \left\{ \sum_f \frac{|A_f|}{AL_f \sqrt{2}} * \cos(2\pi f t + \theta_f + \varphi_f) \right\} \quad \text{Gleichung 7}$$

Wobei gilt: $|A_f|$ und θ_f sind die Spitzenamplitude (elektrische Feldstärke oder magnetische Flussdichte) bzw. die Phase der Spektralkomponente bei der Frequenz f und AL_f ist die betreffende Auslöseschwelle (AL) bei dieser Frequenz. Die Phase φ_f ist eine Funktion der Frequenz und ist im Anhang der ICNIRP-Leitlinien 2010 (ICNIRP 2010) definiert:

$$\varphi_f = \begin{cases} 180^\circ, & \text{foder } AL_f \propto 1/f^2 \\ 90^\circ, & \text{foder } AL_f \propto 1/f \\ 0^\circ, & \text{foder } AL_f = \text{konstant} (\propto f^0) \\ -90^\circ, & \text{foder } AL_f \propto f \end{cases} \quad \text{Gleichung 8}$$

Abbildung D21 Berechnungsschritte für die Methode gewichteter Spitzenwerte mit Gewichtung im Frequenzbereich



Hierbei handelt es sich um die in Abbildung D20 dargestellten stückweisen Werte. Wie bereits zuvor erwähnt, eignet sich diese Methode, um die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte für sensorische sowie für gesundheitliche Wirkungen zu bewerten. Zur Bewertung der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte sind $|A_f|$ und θ_f die Amplitude und die Phase der induzierten (internen) elektrischen Felder, und statt der Auslöseschwellen werden in den Gleichungen 7 und 8 die Expositionsgrenzwerte verwendet. Wie in den Berechnungen der nichtthermischen Wirkungen wird bei Verwendung der Expositionsgrenzwerte $\sqrt{2}$ aus der Gleichung entfernt, da es sich hierbei um Höchstwerte und nicht um Effektivwerte (RMS-Werte) handelt.

D.3.1.2 Alternative Methode: Summation von multifrequenten Feldern (Multifrequenzmethode)

Eine Alternative zur Methode gewichteter Spitzenwerte ist die Multifrequenzmethode (MFR). Diese Methode ist einfacher in ihrer Anwendung, liefert aber konservativere Ergebnisse. Bei Expositionen im Niederfrequenzbereich, die sich in der Nähe der Auslöseschwellen (oder der Expositionsgrenzwerte) bewegen, eignet sich diese Methode unter Umständen nicht, da sie häufig zu einer äußerst konservativen Bewertung führt. Grund ist, dass bei der Multifrequenzmethode die Phasen der Spektralkomponenten nicht berücksichtigt werden und angenommen wird, dass die Sinuswellen der Spektralkomponenten gleichzeitig zusammentreffen, sodass sich das Gesamtfeld im zeitlichen Verlauf erheblich ändert (ICNIRP 2010).

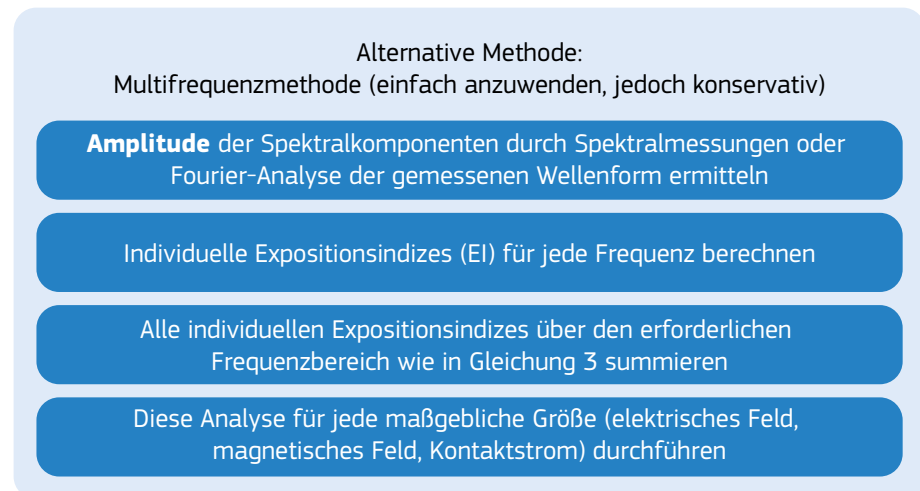
Die Multifrequenzmethode ist in den ICNIRP-Leitlinien (ICNIRP 2010) in den Gleichungen 3 bis 6 beschrieben; allerdings sind anstelle der Referenzwerte und Basisgrenzwerte die Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerte zu verwenden:

$$EI_{\text{nichtthermisch}, X}^{MFR} = \sum_{f=1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{X_f}{AL(X)_f} \quad \text{Gleichung 9}$$

Wobei gilt: X_f ist die Amplitude (RMS), bei der Frequenz f , der gemessenen (oder berechneten) externen Größe, und $AL(X)_f$ ist die entsprechende Auslöseschwelle bei der Frequenz f . „Entsprechende Auslöseschwelle“ bedeutet die Auslöseschwelle bei der

Frequenz der Spektralkomponente, aber auch die Art der für die Bewertung erforderlichen Auslöseschwelle (elektrische Feldstärke, magnetische Flussdichte, niedrige Auslöseschwelle, hohe Auslöseschwelle, Kontaktstrom) gemäß Tabelle B2 in Anhang II der EMF-Richtlinie. Bei der Bewertung in Bezug auf die Expositionsgrenzwerte ist X_f die Amplitude der induzierten elektrischen Feldstärke (Spitzenwert, nicht RMS-Wert) bei der Frequenz f , und $AL(X_f)$ wird durch ELV_f ersetzt. In Abbildung D22 sind die Schritte zur Berechnung des Expositionindex bei Verwendung der Multifrequenzmethode (Summation von multifrequenten Feldern) aufgeführt.

Abbildung D22 Berechnungsschritte bei Verwendung der Multifrequenzmethode



Die Methode der Summation von multifrequenten Feldern ist relativ unkompliziert, und es gibt eine Reihe von Instrumenten, die diese Bewertung im Einklang mit den ICNIRP-Leitlinien automatisch durchführen können. Diese Instrumente eignen sich auch zur Bewertung der Einhaltung der Auslöseschwellen, sofern die maßgeblichen Auslöseschwellen in das Instrument hochgeladen wurden. Die Multifrequenzmethode eignet sich ebenfalls zur Bewertung der Konformität mit den Expositionsgrenzwerten für sensorische sowie für gesundheitliche Wirkungen.

Die Tabellen D5a bis D5d zeigen die Expositionindices bei Verwendung der Methode gewichteter Spitzenwerte mit Gewichtung im Frequenzbereich und bei Verwendung der Multifrequenzmethode sowie die direkt erhaltenen Expositionindices, gemessen mit einem kommerziell verfügbaren Messfühler, der über eine integrierte Shaped Time Domain-(STD-)Funktion (Methode gewichteter Spitzenwerte mit Gewichtung im Zeitbereich) verfügt, im Vergleich.

Tabelle D5a Punktschweißmaschine (50 Hz, 50 kVA). Die Messungen wurden in einem Abstand von 0,3 m in derselben Höhe wie die Schweißpunktposition durchgeführt.

Methode	Niedrige Auslöseschwellen	Hohe Auslöseschwellen	Auslöseschwellen für Exposition von Gliedmaßen
Multifrequenzmethode ^a	3,18	1,70	0,57
Methode gewichteter Spitzenwerte ^a	0,94	0,45	0,15
STD ^b	0,83	0,34	0,13

^aDie Berechnungen erfolgten im Frequenzbereich anhand einer Aufzeichnung mit $N = 4096$, $T = 0,84$ s (d. h., die betrachtete maximale Frequenz betrug etwa 2 kHz).

^bDie STD-Messungen wurden mit einem Instrument mit einem Frequenzbereich von 1 Hz bis 400 kHz durchgeführt.

Tabelle D5b Schweißgerät (2 kHz). Die Messungen wurden in einem Abstand von 0,33 m zum Mittelpunkt der Schweißzange durchgeführt

Methode	Niedrige Auslöseschwellen	Hohe Auslöseschwellen	Auslöseschwellen für Exposition von Gliedmaßen
Multifrequenzmethode ^a	4,52	3,44	1,15
Methode gewichteter Spitzenwerte ^a	1,08	0,81	0,27
STD ^b	–	1,00	–

^a Die Berechnungen erfolgten im Frequenzbereich anhand einer Aufzeichnung mit N = 4096, T = 0,5 s (d. h., die betrachtete maximale Frequenz betrug 4 kHz).

^b Die STD-Messungen wurden mit einem Instrument mit einem Frequenzbereich von 1 Hz bis 400 kHz durchgeführt.

Tabelle D5c Transkranieller Magnetstimulator (TMS)

Methode	Niedrige Auslöseschwellen	Hohe Auslöseschwellen	Auslöseschwellen für Exposition von Gliedmaßen
Multifrequenzmethode ^a	21,88	21,81	7,27
Methode gewichteter Spitzenwerte ^a	13,43	13,23	4,41
STD ^b	–	12,22	4,11

^a Die Berechnungen erfolgten im Frequenzbereich anhand einer Aufzeichnung mit T = 5 ms (d. h., die betrachtete maximale Frequenz betrug 409 kHz).

^b Die STD-Messungen wurden mit einem Instrument mit einem Frequenzbereich von 1 Hz bis 400 kHz durchgeführt.

Tabelle D5d Nahtschweißgerät (100 kVA). Die Messungen wurden im Abstand von 28 cm zur Vorderseite und zur Unterseite des Schweißpunkts durchgeführt

Methode	Niedrige Auslöseschwellen	Hohe Auslöseschwellen	Auslöseschwellen für Exposition von Gliedmaßen
Multifrequenzmethode ^a	4,30	2,59	0,86
Methode gewichteter Spitzenwerte ^a	1,09	0,61	0,20
STD ^b	1,13	0,59	0,16

^a Die Berechnungen erfolgten im Frequenzbereich anhand einer Aufzeichnung mit T = 333 ms (d. h., die betrachtete maximale Frequenz betrug 6,1 kHz).

^b Die STD-Messungen wurden mit einem Instrument mit einem Frequenzbereich von 1 Hz bis 400 kHz durchgeführt.

Wenn nicht vernachlässigbare Spektralkomponenten über 100 kHz vorhanden sind, müssen die thermischen Wirkungen berücksichtigt und getrennt von den nichtthermischen Wirkungen bewertet werden. Dieser Fall wird im nächsten Unterabschnitt behandelt.

D.3.1.3 Alternative Methode: Einfache Bewertung auf physiologischer Basis

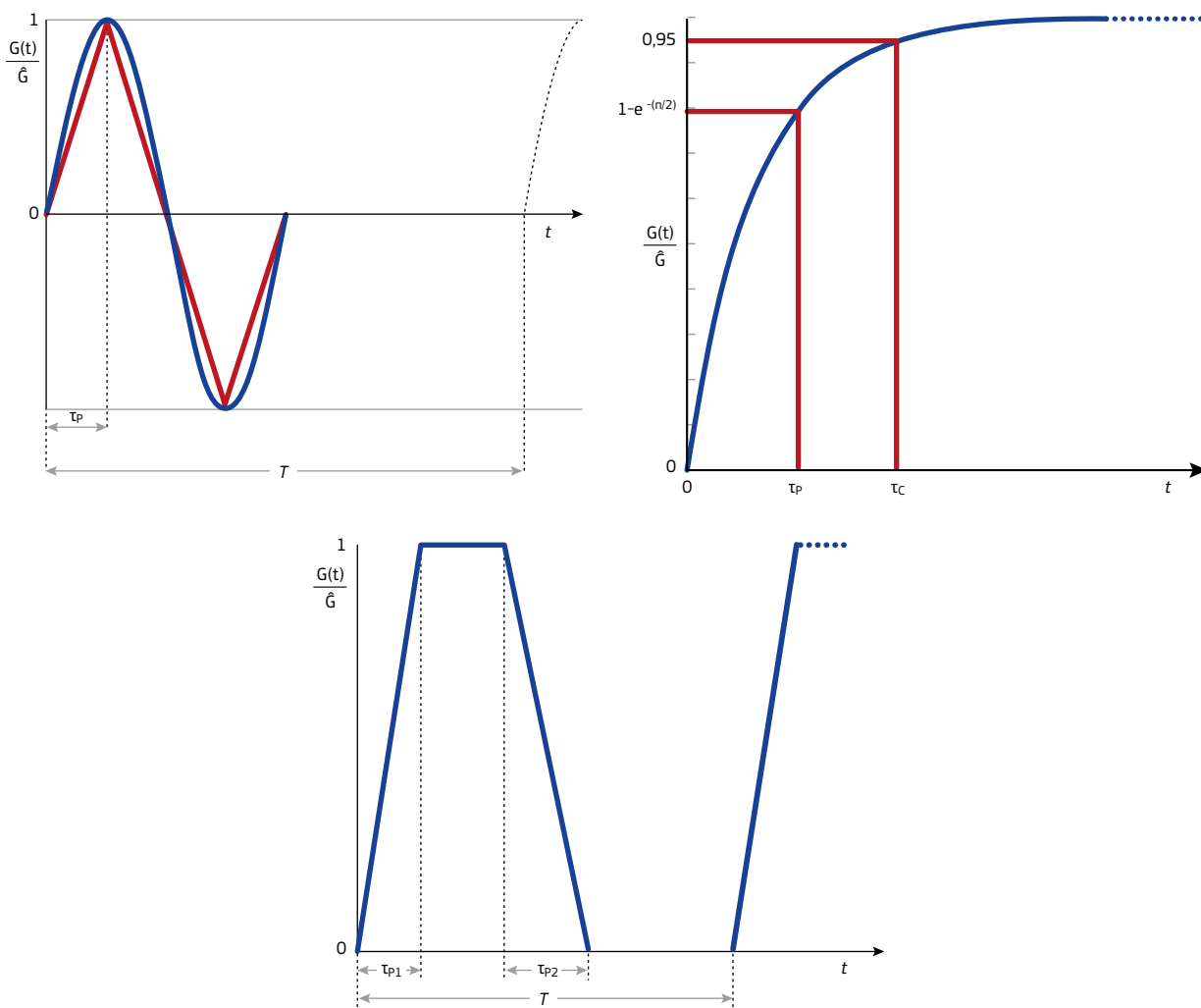
Im Zeitbereich können gepulste Felder aus einer zeitlichen Abfolge von sinus-, trapez-, dreieckförmigen oder exponentiellen Einzel- oder Mehrfachpulsen und Pausen

oder Gleichfeldanteilen bestehen (siehe Abbildung D23). In diesem Fall kann im Niederfrequenzbereich eine vereinfachte Bewertung anhand der unten beschriebenen Parameter vorgenommen werden (Heinrich 2007). Diese Methode beruht auf der Physiologie, insbesondere auf dem Mechanismus der Stimulation:

- (1) Stimulationseffekte treten nur auf, wenn der auf fundierter Basis festgelegte Schwellenwert überschritten wird.
- (2) Impulse unterhalb dieses Schwellenwerts können keinen Reiz hervorrufen, selbst wenn sie sehr lang sind.
- (3) Sind die Impulse sehr kurz, muss die Intensität höher sein.

Das Bewertungsverfahren ist in der Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (HBGV 2001) beschrieben. Allerdings ist zu beachten, dass in dieser Vorschrift aus dem Jahr 2001 die in der neuen Richtlinie 2013/35/EU festgelegten Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerte nicht verwendet werden.

Abbildung D23 Signalkurven (Impulse) mit sinusförmigem (oben links), exponentiellem (oben rechts) und trapez- oder dreieckförmigem (unten) Verlauf



Die Felder in Verbindung mit den in Abbildung 23 gezeigten Signalverläufen werden durch folgende zusätzliche Parameter beschrieben:

G Anstelle der Größe G sind die elektrische Feldstärke E , die magnetische Feldstärke H oder die magnetische Flussdichte B einzusetzen.

$G(t)$ kennzeichnet die Zeitfunktion, \hat{G} den Spitzenwert.

T Impulsdauer bzw. Impulsbreite mit anschließender Pause

τ_p Zeitdauer einer Feldänderung bei sinus-, dreieck- oder trapezförmigen Signalverläufen von null auf den positiven oder negativen Spitzenwert bzw. vom positiven oder negativen Spitzenwert auf null. Die Ermittlung von τ_p bei exponentiellen Signalverläufen ist gemäß obiger Abbildung vorzunehmen. Sind die einzelnen Zeitdauern τ_{pi} unterschiedlich, so sind alle diese Werte τ_{pi} für die weiteren Berechnungen heranzuziehen.

T_I Integrationszeit, wobei gilt:

$$T_I = \begin{cases} T & \text{wobei } T \leq 1 \text{ s} \\ 1 \text{ s} & \text{in allen anderen Fällen} \end{cases}$$

τ_{pmin} Kleinster Wert aller Zeitdauern τ_{pi} :

$$\tau_{pmin} = \min_i(\tau_{pi})$$

τ_c Hilfsgröße zur Beschreibung exponentieller Signalverläufe.

Sind die einzelnen Zeitdauern τ_{ci} unterschiedlich, so sind alle diese Werte τ_{ci} für die weiteren Berechnungen heranzuziehen.

τ_D Zeitliche Summe aller Feldänderungen i im Zeitintervall T_I . Es gilt für:

$$\begin{aligned} &\text{— sinus-, dreieck- und trapezförmige Signalverläufe: } \tau_D = \sum_i \tau_{pi} \\ &\text{— exponentielle Signalverläufe: } \tau_D = \sum_i \tau_{ci} \end{aligned}$$

f_p Frequenz der Feldänderung, wobei gilt: $f_p = \frac{1}{4 \cdot \tau_{pmin}}$

V, V_{max} Gewichtungsfaktor, maximaler Gewichtungsfaktor:

$$V = \begin{cases} \sqrt{\frac{T_I}{\tau_D}} & \text{wobei } \sqrt{\frac{T_I}{\tau_D}} \leq V_{max} \\ V_{max} = 2.6 & \text{in allen anderen Fällen} \end{cases}$$

in allen anderen Fällen

$\left| \frac{dB(t)}{dt} \right|_{p,max}$ Maximale zeitliche Ableitung der magnetischen Flussdichte:

$$\left| \frac{dB(t)}{dt} \right|_{p,max} = \omega \hat{B} \cdot V = 2\pi \cdot f_p \sqrt{2} \cdot B \cdot V$$

$\left| \frac{dB(t)}{dt} \right|_{p,mean}$ Mittlere zeitliche Ableitung der magnetischen Flussdichte:

$$\left| \frac{dB(t)}{dt} \right|_{p,mean} = \frac{\omega \hat{B} \cdot V}{\pi/2} = 4 \cdot f_p \sqrt{2} \cdot B \cdot V$$

Tabelle D6: Auslöseschwellen für die maximale zeitliche Ableitung der magnetischen Flussdichte $\left| \frac{dB(t)}{dt} \right|_{p,mean}$ in T/s gemäß Tabelle B2 der Richtlinie 2013/35/EU

Frequenzbereich	Niedrige Auslöseschwelle	Hohe Auslöseschwelle	Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen gegenüber einem lokalen Magnetfeld
1 Hz < f_p < 8 Hz	$1,8 \cdot V/f_p$	$2,7 \cdot V$	$8 \cdot V$
8 Hz < f_p < 25 Hz	$0,2 \cdot V$	$2,7 \cdot V$	$8 \cdot V$
25 Hz < f_p < 300 Hz	$0,01 \cdot f_p \cdot V$	$2,7 \cdot V$	$8 \cdot V$
300 Hz < f_p < 3 kHz	$2,7 \cdot V$	$2,7 \cdot V$	$8 \cdot V$
3 kHz < f_p < 10 MHz	$0,001 \cdot f_p \cdot V$	$0,001 \cdot f_p \cdot V$	$0,003 \cdot f_p \cdot V$

Tabelle D7: Auslöseschwellen für die mittlere zeitliche Ableitung der magnetischen Flussdichte $\left| \frac{dB(t)}{dt} \right|_{p,mean}$ in T/s gemäß Tabelle B2 der Richtlinie 2013/35/EU, gemittelt über das Zeitintervall τ_p

Frequenzbereich	Niedrige Auslöseschwelle	Hohe Auslöseschwelle	Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen gegenüber einem lokalen Magnetfeld
1 Hz < f_p < 8 Hz	$1,15 \cdot V/f_p$	$1,7 \cdot V$	$5,1 \cdot V$
8 Hz < f_p < 25 Hz	$0,13 \cdot V$	$1,7 \cdot V$	$5,1 \cdot V$
25 Hz < f_p < 300 Hz	$6 \cdot 10^{-3} \cdot f_p \cdot V$	$1,7 \cdot V$	$5,1 \cdot V$
300 Hz < f_p < 3 kHz	$1,7 \cdot V$	$1,7 \cdot V$	$5,1 \cdot V$
3 kHz < f_p < 10 MHz	$6 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$6 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$2 \cdot 10^{-3} \cdot f_p \cdot V$

Die in der EMF-Richtlinie 2013/35/EU angegebenen Expositionsgrenzwerte werden eingehalten, wenn die Auslöseschwellen für dieses Verfahren angewendet werden.

Die Gewichtungsfaktoren V , V_{max} und die Tabellen mit den Auslöseschwellen für dieses Bewertungsverfahren sind an die Anforderungen der EMF-Richtlinie angepasst.

D.3.2 Thermische Wirkungen (100 kHz bis 300 GHz)

D.3.2.1 Bewertung in Bezug auf Auslöseschwellen

Für elektromagnetische Felder mit nicht vernachlässigbaren Spektralkomponenten über 100 kHz müssen die thermischen Wirkungen bewertet werden, wobei der Gesamtexpositionsindex für thermische Wirkungen durch folgende Gleichung bestimmt wird (ICNIRP 1998):

$$EI_{thermisch,X} = \sum_{f=100 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} \frac{X_f^2}{AL(X)_{thermisch,X}^2} \quad \text{Gleichung 10}$$

Wobei gilt: X_f ist die Amplitude (RMS) bei der Frequenz f , und X steht für die elektrische Feldstärke, die magnetische Flussdichte oder den Kontaktstrom. $AL(X)_{thermisch,f}$ ist die Auslöseschwelle für thermische Wirkungen bei der Frequenz f , entsprechend der Definition in den Tabellen B1, B2 und B3 in Anhang III der EMF-Richtlinie. Wenn die

Feldstärke zu bewerten ist, muss es sich bei X_f^2 für Frequenzen unter 6 GHz um einen über ein Sechs-Minuten-Intervall oder für Frequenzen über 6 GHz um einen über ein Zeitintervall von $\tau = 68/f^{1,05}$ minutes (wobei f in GHz angegeben ist) gemittelten Wert handeln. Für Kontaktströme wird eine Summierung nur zwischen 100 kHz und 110 MHz durchgeführt, und eine zeitliche Mittelung ist nicht erforderlich.

Die Flankensteilheit der elektromagnetischen Welle hat keinen Einfluss auf die Gewebeerwärmung. Deshalb wird die Methode gewichteter Spitzenwerte nicht verwendet, um die Einhaltung von Auslöseschwellen zu bewerten, die zur Vermeidung thermischer Wirkungen festgelegt wurden.

Bei Hochfrequenzpulsen (HF-Pulsen) mit Trägerfrequenzen über 6 GHz muss die über die Impulsbreite gemittelte höchste Leistungsdichte unter 50 kWm^{-2} liegen, d. h., sie darf das 1 000-Fache der Auslöseschwelle für die Leistungsdichte nicht überschreiten (Tabelle B1 in Anhang III der EMF-Richtlinie).

Wenn sich externe Felder über die Höhe des Körpers des Arbeitnehmers erheblich ändern, ist – wie in den auf nichtthermische Wirkungen bezogenen Berechnungen – gegebenenfalls die örtliche Mittelung der Expositionsniveaus erforderlich, die jeweils für den im verwendeten Grenzwert genannten Körperteil gelten. Dieser Fall wird im vorherigen Abschnitt D2 beschrieben.

Bewertung in Bezug auf Auslöseschwellen für Ströme durch die Gliedmaßen

Zur Bewertung der Ströme durch die Gliedmaßen wird dieselbe Gleichung wie für elektrische und magnetische Felder verwendet; es werden aber nur Frequenzen zwischen 10 MHz und 110 MHz betrachtet. Es ist zu beachten, dass $I_{i,p}^2$ das Quadrat des Stroms durch die Gliedmaßen bei der Frequenz f , über ein Sechs-Minuten-Intervall zu mitteln ist.

D.3.2.2 Bewertung in Bezug auf Expositionsgrenzwerte

Bewertung in Bezug auf Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen (100 kHz bis 300 GHz)

Wie in den ICNIRP-Leitlinien 1998 (ICNIRP 1998) beschrieben, ergibt sich der Expositionsindex für thermische gesundheitliche Wirkungen durch folgende Gleichung:

$$EI_{\text{thermisch,ELV}} = \frac{1}{ELV(SAR)} \sum_{f=100 \text{ kHz}}^{6 \text{ GHz}} W_i \langle SAR_f \rangle + \frac{1}{ELV(S)} \sum_{f>6 \text{ GHz}}^{300 \text{ GHz}} \langle S_f \rangle \quad \text{Gleichung 11}$$

Wobei gilt:

$\langle SAR_f \rangle$ ist die spezifische Energieabsorptionsrate (SAR) bei der Frequenz f , in W/kg, gemittelt über ein Sechs-Minuten-Intervall.

$ELV(SAR)$ ist der Expositionsgrenzwert für die spezifische Energieabsorptionsrate (SAR), in Wkg^{-1} , wie in Tabelle A1 in Anhang III der EMF-Richtlinie angegeben.

$\langle S_f \rangle$ ist die Leistungsdichte bei der Frequenz f , in Wm^{-2} , gemittelt über ein beliebiges exponiertes Flächenelement von 20 cm^2 sowie über ein Zeitintervall von $\tau = 68/f^{1,05}$ (wobei f in GHz angegeben ist).

$ELV(S)$ ist der Expositionsgrenzwert für die Leistungsdichte, gleich 50 Wm^{-2} , wie in Tabelle A1 in Anhang III der EMF-Richtlinie angegeben.

Bei der Bewertung der lokalen SAR muss die lokale SAR über eine Masse von 10 g eines beliebigen zusammenhängenden Gewebes gemittelt werden (im Gegensatz zur Mittelung über den ganzen Körper). Der so erhaltene SAR-Höchstwert sollte der in Gleichung 10 verwendete Wert sein. Abschnitt D2 enthält weitere Informationen zur Mittelung.

Bewertung in Bezug auf Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen (300 MHz bis 6 GHz)

Auditive sensorische Wirkungen können hervorgerufen werden, wenn der Kopf einer gepulsten Mikrowellenstrahlung mit einer Frequenz zwischen 300 MHz und 6 GHz ausgesetzt ist. Um solche Wirkungen auszuschließen, müssen die Expositionsgrenzwerte für die spezifische Energieabsorptionsrate eingehalten werden. Der Expositionsindex ergibt sich hierbei durch folgende Gleichung:

$$EI_{\text{auditory ELV}} = \frac{1}{ELV(SAR)} \sum_{f=300 \text{ MHz}}^{6 \text{ GHz}} SA_f \quad \text{Gleichung 12}$$

Wobei gilt:

SA_f ist die spezifische Energieabsorption (SA) bei der Frequenz f innerhalb des Kopfes, in Jkg^{-1} . Dieser Wert muss gleich dem Höchstwert der über 10 g zusammenhängendes Gewebe gemittelten Werte sein. $ELV(SA)$ ist gleich 10 mJkg^{-1} .

D.3.3 Bewertung elektromagnetischer Felder mit Frequenzen zwischen 100 kHz und 10 MHz

Bei HF-Signalen mit Frequenzen zwischen 100 kHz und 10 MHz, einschließlich Oberschwingungen von Grundsignalen mit Frequenzen unter 100 kHz, muss die Einhaltung der Grenzwerte sowohl für nichtthermische als auch für thermische Wirkungen nachgewiesen werden. Hierzu können die Werte des internen Feldes mit den entsprechenden Expositionsgrenzwerten verglichen werden, obwohl ein Vergleich der Werte des externen Feldes mit den entsprechenden Auslöseschwellen üblicher wäre.

Die Abbildungen 6.2 und 6.7 zeigen die für den jeweiligen Frequenzbereich der Quelle erforderliche Bewertung (zur Einhaltung der Auslöseschwellen bzw. der Expositionsgrenzwerte). In vielen Fällen sind aufgrund der Frequenzeigenschaften der Quelle nur Wirkungen einer Art (thermische oder nichtthermische) maßgeblich. Bewegt sich die Quelle jedoch im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 10 MHz (in den Abbildungen 6.2 und 6.7 rot dargestellt), sind beide Wirkungen relevant. Deshalb muss die Einhaltung der Grenzwerte für beide Wirkungen beurteilt werden, wie in Tabelle D8 für Auslöseschwellen dargelegt.

Angenommen, es wird eine Arbeitsumgebung untersucht, in der die Exposition eines Arbeitnehmers durch ein Grundsignal mit 75 kHz verursacht wird, das einen erheblichen Anteil an Oberschwingungen mit einer Frequenz von 225 kHz, 375 kHz und 525 kHz enthält. Da alle Frequenzen unter 10 MHz liegen, müssen sie in die Bewertung des nichtthermischen Expositionsindex für elektrische Felder, Magnetfelder und gegebenenfalls Kontaktströme für alle im Bereich zwischen 1 Hz und 10 MHz ermittelten Frequenzen einbezogen werden. Das kann ebenfalls netzfrequente Signale (50/60 Hz) und die entsprechenden Oberschwingungen umfassen. Darüber hinaus müssen die Signale mit 225 kHz, 375 kHz und 525 kHz in die Bewertung des thermischen Expositionsindex für diese Arbeitsumgebung einbezogen werden, da diese Frequenzen im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 300 GHz liegen. Alle anderen in diesem Bereich ermittelten Frequenzen müssen ebenfalls in die Berechnung des thermischen Expositionsindex einfließen. Um die Einhaltung der Grenzwerte für thermische Wirkungen zu bewerten, können die Werte für die externe elektrische Feldstärke oder für die externe magnetische Feldstärke herangezogen werden. Jedoch ist auch der Expositionsindex infolge von Kontaktströmen zu beurteilen, sofern relevant. Alle Expositionsindizes (nichtthermischer, thermischer, Kontaktströme) müssen kleiner als eins sein. Andernfalls sind einschränkende Maßnahmen für den Arbeitnehmer oder die Quelle zu treffen, um die Einhaltung der zulässigen Werte zu gewährleisten. Wenn die Einhaltung der Auslöseschwellen nicht nachgewiesen werden kann, besteht

die Möglichkeit, immer noch die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte nachzuweisen, obwohl die Kosten dafür erheblich sein können.

Tabelle D8 Nicht erschöpfende Liste mit Beispielen für Quellen und entsprechende Anforderungen zur Einhaltung der Auslöseschwellen je nach Frequenzbereich der Quelle. Die Abkürzungen und Gleichungen werden in den nachfolgenden Unterabschnitten beschrieben

Frequenzbereich der Quelle	Erforderliche Messung	Zu verwendende Gleichung	Anforderungen zur Einhaltung der Auslöseschwellen	Quellen (Beispiele)
1 Hz bis 100 kHz	B, E, I_c	Gleichung 6 oder 8	$E_{nichtthermisch,X}^M \leq 1$ $X = \{B, E, I_c\}$ und $M = \{(1) \text{ oder } (2)\}$	Übertragungsleitungen von Energieversorgern, Magnetpulverprüfung
100 kHz bis 10 MHz	B, E, I_c	Gleichung 6 oder 8 und Gleichung 9	Wie oben, plus: $E_{thermisch,X} \leq 1$ Für $X = \{B, E, I_c\}$	Elektronische Warensicherungssysteme, AM-Rundfunkstationen, Power Line Communication-(PLC-) Systeme
10 MHz bis 110 MHz	B, E, I_c, I_L	Gleichung 9	$E_{thermisch,X} \leq 1$ Für $X = \{B, E, I_c, I_L\}$	FM-Rundfunkstationen, Kunststoffschweißmaschinen
110 MHz bis 300 GHz	B, E (falls im Fernfeld, dann B oder E)	Gleichung 9	$E_{thermisch,X} \leq 1$ Für $X = \{B, E\}$ (falls im Fernfeld, dann $X = \{B \text{ oder } E\}$)	Mobilfunkbasisstationen, Militärradarsysteme

Zu beachten ist, dass nichtthermische Wirkungen unmittelbar sind, während aufgrund der Mechanismen zur Temperaturregulierung im menschlichen Körper thermische Wirkungen von der Dauer der Exposition abhängen. Dementsprechend wird zur Bewertung der nichtthermischen gesundheitlichen Wirkungen die maximale unmittelbare Exposition herangezogen. Zur Bewertung der thermischen gesundheitlichen Wirkungen erlaubt die EMF-Richtlinie dagegen für Frequenzen unter 10 GHz eine zeitliche Mittelung der Exposition über ein Sechs-Minuten-Intervall bzw. für Frequenzen über 10 GHz eine zeitliche Mittelung über ein Intervall von $\tau = 68/f^{1.05}$ minutes (wobei f in GHz angegeben ist). Erfolgt eine Bewertung in Bezug auf die Auslöseschwellen für die Feldstärke, die magnetische Flussdichte oder die Ströme durch die Gliedmaßen, sind für die zeitliche Mittelung die quadrierten Werte zu verwenden.

D.4 Bewertung der Exposition gegenüber statischen Magnetfeldern

D.4.1 Einführung

Wenn sich ein Körper oder ein Körperteil in einem statischen Magnetfeld bewegt, sind die hervorgerufenen Hauptwirkungen eine Stimulation des peripheren Nervensystems und vorübergehende sensorische Wirkungen wie Schwindel, Übelkeit, metallischer Geschmack sowie optische Wahrnehmungen wie Phosphene.

Die EMF-Richtlinie enthält Grenzwerte für statische Magnetfelder für zwei unterschiedliche Arbeitsbedingungen:

- normal (nicht kontrolliert) und
- kontrolliert, d. h., es wurden Präventionsmaßnahmen wie eine Kontrolle der Bewegungen und eine Unterrichtung der Arbeitnehmer getroffen.

Die Bewertung der Konformität bei der Bewegung in statischen Magnetfeldern hängt von der Arbeitsumgebung ab, d. h., ob diese normal oder kontrolliert ist, und es müssen unterschiedliche Wirkungen berücksichtigt werden. Dieser Prozess wird im Ablaufdiagramm in Abbildung D24 veranschaulicht. Wenn die Einhaltung der zulässigen Werte unter normalen Arbeitsbedingungen nachgewiesen wurde, folgt daraus auch ihre Einhaltung unter kontrollierten Arbeitsbedingungen. In einer kontrollierten Arbeitsumgebung ist jedoch nur der Nachweis erforderlich, ob die Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen eingehalten werden, die für die Stimulation der peripheren Nerven gelten.

Die in Tabelle A1 in Anhang II der EMF-Richtlinie angegebenen Expositionsgrenzwerte für die externe magnetische Flussdichte gelten für statische Magnetfelder. Wenn sich ein Arbeitnehmer in einem statischen Magnetfeld bewegt, werden niederfrequente elektrische Felder im Körper induziert. In diesem Fall sind die Expositionswerte in den Tabellen A2 und A3 sowie die Auslöseschwellen in Tabelle B2 in Anhang II der EMF-Richtlinie als Grundlage für die Expositionsbewertung zu verwenden. Es wurden weitere Leitlinien zur Begrenzung der Exposition gegenüber elektrischen Feldern veröffentlicht, die durch die Bewegung in statischen Magnetfeldern induziert werden (ICNIRP 2014). Diese Leitlinien basieren auf der besten verfügbaren Evidenz; zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Leitfadens waren diese Informationen jedoch noch nicht in die EMF-Richtlinie eingeflossen. Die Werte sind in Tabelle D9 zusammengefasst.

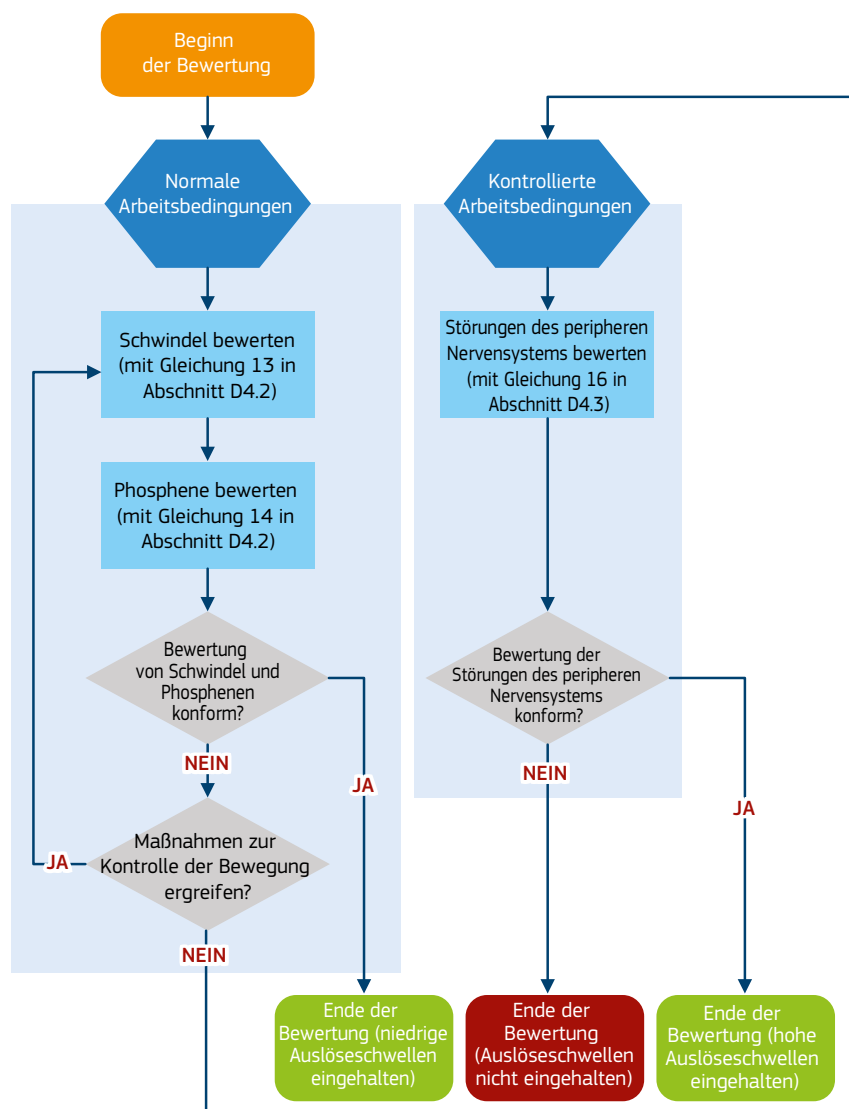
Die Leitlinien der ICNIRP sind nicht verbindlich, und die darin verwendete Terminologie weicht von der in der EMF-Richtlinie verwendeten ab. Die Basisgrenzwerte sind Größen, die nicht überschritten werden dürfen, und entsprechen in ihrer Konzeption den in der EMF-Richtlinie angegebenen Expositionsgrenzwerten. Bei den Referenzwerten handelt es sich um konservative Ableitungen aus den Basisgrenzwerten, sie werden jedoch in Größen ausgedrückt, die sich einfacher bewerten lassen. Die Referenzwerte entsprechen in ihrer Konzeption den in der EMF-Richtlinie angegebenen Auslöseschwellen.

Tabelle D9 Basisgrenzwerte und Referenzwerte zur Begrenzung der Exposition am Arbeitsplatz infolge der Bewegung in statischen Magnetfeldern (ICNIRP 2014 entnommen)

Frequenz (Hz)	Basisgrenzwerte Interne elektrische Feldstärke ($Vm^{-1}_{(peak)}$)		Referenzwerte Zeitliche Ableitung der magnetischen Flussdichte ($Ts^{-1}_{(peak)}$)	
	Sensorische Wirkungen ¹	Gesundheitliche Wirkungen ²	Sensorische Wirkungen ¹	Gesundheitliche Wirkungen ²
0 bis 0,66	1,1	1,1	2,7	2,7
0,66 bis 1	0,7/f	1,1	1,8/f	2,7

Anmerkung: 1 — Ergriffene einschränkende Maßnahmen zur Reduzierung der Wahrnehmung von Phosphenen unter normalen Arbeitsbedingungen auf ein Minimum
 2 — Ergriffene einschränkende Maßnahmen zur Reduzierung der sensorischen Wirkungen auf das periphere Nervensystem unter kontrollierten Arbeitsbedingungen auf ein Minimum
 3 — Zur Verhinderung von Schwindel infolge der Bewegung in einem statischen Magnetfeld sollte die maximale Änderung der magnetischen Flussdichte ΔB über ein beliebiges Drei-Sekunden-Intervall 2 T nicht überschreiten. Unter kontrollierten Arbeitsbedingungen kann dieser Wert überschritten werden (ICNIRP 2014).

Abbildung D24 Prozess zur Bewertung der Konformität bei der Bewegung in statischen Magnetfeldern



D.4.2 Normale Arbeitsbedingungen

Unter normalen Arbeitsbedingungen beruht die Begrenzung der Exposition infolge der Bewegung in statischen Magnetfeldern auf dem Ausschluss sensorischer Wirkungen wie Schwindel, Übelkeit und Phosphene. Das Spektrum der durch die Bewegung induzierten Felder erstreckt sich auf bis zu 25 Hz, was bei der Wahl der Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen (Tabelle A3 in Anhang II der EMF-Richtlinie) und der Basisgrenzwerte der ICNIRP (Tabelle D9) zu berücksichtigen ist. Allgemein ist eine Bewertung der Expositionen in Bezug auf die niedrigen Auslöseschwellen (Tabelle B2 in Anhang II der EMF-Richtlinie) und die ICNIRP-Basisgrenzwerte (Tabelle D9) angemessen.

Reduzierung von Schwindel auf ein Minimum

Das Auftreten sensorischer Wirkungen wie Schwindel oder Übelkeit infolge der Bewegung in einem statischen Magnetfeld kann auf ein Minimum reduziert werden, wenn die Bewegung innerhalb des Feldes so langsam wie möglich erfolgt. Damit die Wahrscheinlichkeit, dass Schwindel und Übelkeit auftreten, möglichst gering bleibt, sollte die Änderung der magnetischen Flussdichte ΔB über ein beliebiges Drei-Sekunden-Intervall deshalb 2 T nicht überschreiten:

$$|\Delta B|_{3s} \leq 2 \text{ T} \quad \text{Gleichung 13}$$

Reduzierung von Phosphenen auf ein Minimum

Zur Begrenzung der Wahrnehmung von Phosphenen auf ein Minimum sollten für die interne elektrische Feldstärke E_i die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen (Tabelle A3 in Anhang II der EMF-Richtlinie) und die Basisgrenzwerte (Tabelle D9) herangezogen werden. Da die interne elektrische Feldstärke nicht auf einfache Weise bestimmt werden kann, ist es allgemein üblicher, zur Bewertung der Konformität die Referenzwerte (Tabelle D9) und die zeitliche Ableitung der niedrigen Auslöseschwellen (Tabelle B2 in Anhang II der EMF-Richtlinie) zu verwenden.

Das durch die Bewegung in einem statischen Magnetfeld induzierte elektrische Feld ist nicht sinusförmig und umfasst ein Spektrum, das sich auf bis zu 25 Hz erstreckt. Deshalb müssen die vorhandenen Frequenzkomponenten mithilfe der Methode gewichteter Spitzenwerte ermittelt werden (siehe Anhang D3).

Der Expositionsindex für dB/dt ergibt sich durch folgende Gleichung auf der Basis einer frequenzabhängigen und phasenbezogenen Gewichtungsfunktion:

$$EI_{\text{movement}}^{\text{phosphene}} = \text{Maximum} \left\{ \left| \sum_{f=0}^{25 \text{ Hz}} \frac{|A_f|}{RL_f} * \cos(2\pi f t + \theta_f + \varphi_f) \right| \right\} \quad \text{Gleichung 14}$$

Wobei gilt: $|A_f|$ und θ_f sind die Amplitude und die Phase der Spektralkomponente bei der Frequenz f der zeitlichen Ableitung der magnetischen Flussdichte dB/dt und RL_f ist der Referenzwert für sensorische Wirkungen bei dieser Frequenz. Die Phase φ_f (der sogenannte Phasenwinkel des Filters) ist eine Funktion der Frequenzabhängigkeit von RL_f und hat die Werte 90° , 180° und 90° für die jeweiligen Frequenzbereiche von 0 bis 0,66 Hz, 0,66 bis 8 Hz und 8 bis 25 Hz, wobei die Frequenzabhängigkeit von RL_f gleich f^0 , $1/f$ und f^0 beträgt. Die Phasenwerte der Filterfunktion für dB/dt sind im Anhang der ICNIRP-Leitlinien 2010 (ICNIRP 2010) definiert und werden in Anhang D3 erklärt.

Bei Berechnung des Expositionsindex für dB/dt , mit oben stehender Gleichung ist darauf zu achten, dass Referenzwerte für den höchsten Wert (*peak*) von dB/dt nur

für Frequenzen unter 1 Hz angegeben werden. Über 1 Hz werden Auslöseschwellen (Tabelle B2 in Anhang II der EMF-Richtlinie) als Effektivwerte (RMS-Werte) und nicht als zeitliche Ableitungen der magnetischen Flussdichte angegeben. Jedoch können diese Auslöseschwellen zur Berechnung des entsprechenden Referenzwerts RL_f für $peak\ dB/dt$ bei einer Frequenz über 1 Hz herangezogen werden:

$$\left(\frac{dB}{dt}\right)_{RL,peak} = 2\sqrt{2}\pi f B_{lowAL,rms} \quad \text{Gleichung 15}$$

Wobei gilt: $B_{lowAL,rms}$ ist der RMS-Wert der niedrigen Auslöseschwelle für die magnetische Flussdichte bei der Frequenz f , und $\left(\frac{dB}{dt}\right)_{RL,peak}$ ist der umgerechnete Referenzwert RL_f für $peak\ dB/dt$ bei dieser Frequenz.

D.4.3 Kontrollierte Arbeitsbedingungen

Wie bereits in Abschnitt D4.2 oben erwähnt, umfasst das induzierte elektrische Feld Komponenten mit Frequenzen von bis zu 25 Hz, was zu berücksichtigen ist, wenn die entsprechenden Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen (Tabelle A2 in Anhang II der EMF-Richtlinie) und die entsprechenden Basisgrenzwerte (Tabelle D9) gewählt werden. Auch in diesem Fall ist die Bewertung der Expositionen anhand der hohen Auslöseschwellen (Tabelle B2 in Anhang II der EMF-Richtlinie) und der Referenzwerte für gesundheitliche Wirkungen (Tabelle D9) generell angemessener.

Ausschluss der Stimulation der peripheren Nerven

Um eine Stimulation der peripheren Nerven auszuschließen, begrenzen sowohl die ICNIRP-Basisreferenzwerte als auch die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen die interne elektrische Feldstärke E_i auf $1,1\text{ Vm}^{-1}$. Die entsprechenden ICNIRP-Referenzwerte sowie die zeitliche Ableitung der hohen Auslöseschwellen haben jeweils den Wert $2,7\text{ Ts}^{-1}$. Da der Referenzwert als auch die zeitliche Ableitung der hohen Auslöseschwelle über den betrachteten Frequenzbereich konstant sind, wird der Expositionsindex durch Summation der Spektralkomponenten bei Frequenzen von bis zu 25 Hz erhalten. Hierbei erfolgt keine spektrale Gewichtung der Amplitude (die Filterphase φ_f ist für alle Spektralkomponenten auf null gesetzt), jedoch werden die Phasen der Spektralkomponenten von dB/dt berücksichtigt.

$$EI_{movement}^{PNS} = \frac{1}{2,7} * \text{Maximum} \left\{ \left| \sum_{f=0}^{25\text{ Hz}} |A_f| * \cos(2\pi f t + \theta_f) \right| \right\} \quad \text{Gleichung 16}$$

Wobei gilt $|A_f|$ und θ_f sind die Amplitude und die Phase der Spektralkomponente von dB/dt bei der Frequenz f . Der Ausdruck in Klammern in Gleichung 16 entspricht dem absoluten Wert der Wellenform von dB/dt (somit sind alle Werte von dB/dt positiv). Der Expositionsindex ergibt sich dann durch den Spitzenwert dieser Wellenform dividiert durch $2,7\text{ Ts}^{-1}$.

D.5 Hinweise zu Mess- und Berechnungsunsicherheiten

Zweck einer Messung oder Berechnung ist die Bestimmung des „wahren Werts“ ⁽¹⁾ der untersuchten Größe, und jede Abweichung ist auf eine Unsicherheit zurückzuführen.

Gemäß der EMF-Richtlinie müssen Arbeitgeber Unsicherheiten berücksichtigen und sie im Rahmen der Bewertung der Gesamtexposition erfassen. Artikel 4 Absatz 3 besagt: „In diesem Fall werden bei der Bewertung die gemäß einschlägiger bewährter Verfahren ermittelten Mess- oder Berechnungsunsicherheiten berücksichtigt, wie zum

⁽¹⁾ Auch der wahre Wert ist mit einer Unsicherheit verbunden, da es sich um eine Schätzung auf der Grundlage der gegenwärtigen Kenntnisse und Daten handelt.

Beispiel numerische Fehler, Quellenmodellierung, Phantomgeometrie und die elektrische Eigenschaften von Geweben und Werkstoffen.“

Eine der Hauptherausforderungen bei der Konformitätsbewertung besteht für einen Arbeitgeber darin, die Genauigkeit der Messungen und/oder Berechnungen in Bezug auf die in der EMF-Richtlinie angegebenen Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerte nachzuweisen. Dies umfasst die Ermittlung der Quellen der Unsicherheit, die Bestimmung der Größenordnung ihres Einflusses sowie den Nachweis, dass sich der Einfluss innerhalb eines akzeptablen Rahmens bewegt.

Internationale Standards wie der ISO/IEC Guide 98-3:2008 (Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen) sind eine gute Quelle, um praktische Hilfestellung in Bezug auf Messunsicherheiten zu erhalten. Vom CENELEC und anderen Normungsgremien wurden Normen herausgegeben, in denen die verschiedenen bewährten Verfahren zum Umgang mit Unsicherheiten beim Vergleich der Größen elektromagnetischer Expositionen mit den Grenzwerten beschrieben werden (siehe Anhang H).

Idealerweise sollte die Gesamtunsicherheit in Bezug auf die Abweichung zwischen dem gemessenen und/oder berechneten Wert und der Auslöseschwelle oder des Expositionsgrenzwerts gering sein. Bei einer sehr großen Unsicherheit ist das Vertrauen in die Bewertung, ob ein Expositionswert einen vorgegebenen Grenzwert einhält bzw. nicht einhält, höchstwahrscheinlich geringer. In diesem Fall ist es unter Umständen wünschenswert, die Bewertung mithilfe genauerer Methoden und/oder Instrumente zu wiederholen, um die Unsicherheit zu verringern.

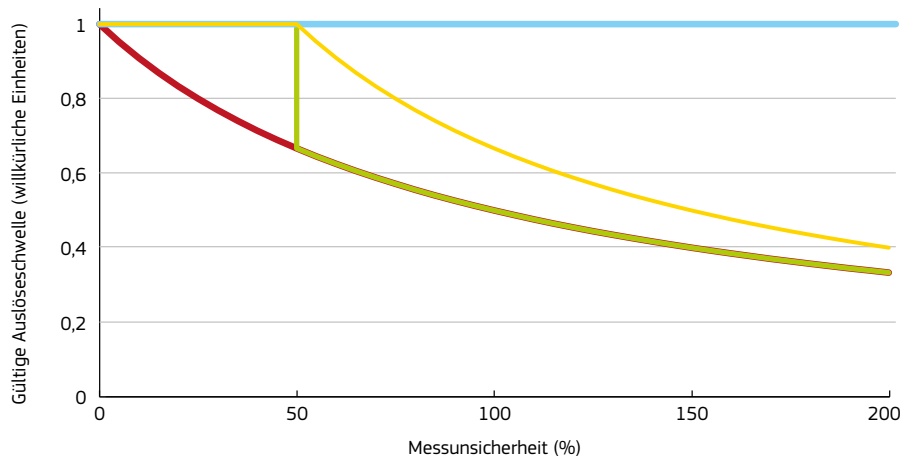
Für den Umgang mit Unsicherheiten bei Konformitätsbewertungen gibt es allgemein zwei Vorgehensweisen, die jeweils ihre Vor- und Nachteile haben. Die erste Vorgehensweise ist der direkte Vergleich, der „Shared Risk“-Ansatz. Hierbei wird der gemessene oder berechnete Wert direkt mit den Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerten verglichen. Die zweite Vorgehensweise ist der additive Ansatz, bei dem die Unsicherheit zum gemessenen oder berechneten Wert addiert wird, bevor dieser mit der Auslöseschwelle oder dem Expositionsgrenzwert verglichen wird. Während es sich bei beiden Ansätzen um eine sorgfältige Bewertung der Unsicherheit handelt, ist der zweite Ansatz aufgrund seiner Art transparenter.

Unterschiedliche Kombinationen dieser beiden Ansätze sind möglich, und die Wahl einer bestimmten Vorgehensweise dürfte von Faktoren wie nationalen Gepflogenheiten und Praktiken oder den Umständen der Exposition abhängen. Die Auswirkung der unterschiedlichen Ansätze wird in Abbildung D25 veranschaulicht. Aufgrund der Tatsache, dass die Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerte Sicherheitsabschläge beinhalten, um eine ausreichende Sicherheitstoleranz für den Ausschluss sensorischer und gesundheitlicher Wirkungen zu gewährleisten, können unterschiedliche Vorgehensweisen gerechtfertigt sein, wenn die Unsicherheit nicht übermäßig groß ist.

D.5.1 Unsicherheiten im Hinblick auf Messungen

Die Unsicherheit in jedem Messschema bedingt sich normalerweise durch eine Kombination mehrerer Faktoren, darunter *systematische Fehler* in Verbindung mit der Leistung des Messinstruments und *Zufallsfehler*, die darauf zurückzuführen sind, wie die Messung durchgeführt wird. Wichtig ist die Erkenntnis, dass potenzielle Fehlerquellen ermittelt werden können und die jeder Fehlerquelle innewohnende maximale Unsicherheit quantifiziert werden kann. Allgemein ist die quantitative Abschätzung von Messunsicherheiten auf zwei Arten möglich. Die Unsicherheit lässt sich aus der statistischen Auswertung wiederholter Messungen ableiten (Ermittlungsmethode A der Messunsicherheit), oder die Unsicherheit kann auf der Grundlage zahlreicher anderer Informationen abgeschätzt werden, z. B. frühere Erfahrungen, Kalibrierungszertifikate, Herstellerspezifikationen, veröffentlichte Informationen, Berechnungen und gesunder Menschenverstand (Ermittlungsmethode B).

Abbildung D25 Vergleich der unterschiedlichen Ansätze zum Umgang mit Messunsicherheiten. Die blaue Linie zeigt die Auswirkung, wenn die Unsicherheit ignoriert wird. Die rote Linie zeigt die Auswirkung bei Anwendung des additiven Ansatzes. Die grüne Linie ist ein Beispiel für einen „Shared Risk“-Ansatz. In diesem Fall wird der gemessene Wert direkt verglichen, vorausgesetzt, die Unsicherheit liegt unter 50 %. Übersteigt die Unsicherheit diesen Wert, wird zum additiven Ansatz gewechselt. Die gelbe Linie zeigt einen alternativen „Shared Risk“-Ansatz. Übersteigt die Unsicherheit 50 %, wird ab diesem Punkt der additive Ansatz verwendet



Nachdem alle Fehlerquellen ermittelt und die daraus resultierenden Unsicherheiten quantifiziert wurden, kann die kumulative Wirkung gemäß feststehenden Regeln für die „Fehlerfortpflanzung“ berechnet werden. Dies erlaubt die Schätzung der mit einer Messung verbundenen Gesamtunsicherheit, die als „Konfidenzintervall“ ausgedrückt werden kann. Der in Prozent ausgedrückte Grad an Konfidenz für das entsprechende Konfidenzintervall wird durch Anwendung eines Erweiterungsfaktors k erhalten, der im Zusammenhang mit einer glockenförmigen Wahrscheinlichkeitskurve steht. Hat k den Wert 1, entspricht dies einer Konfidenz von 68 %; bei $k = 2$ beträgt die Konfidenz 95 % und bei $k = 3$ 99,7 %.

Die Ermittlung der Messunsicherheit kann aufgrund unterschiedlicher Situationen an vielen Arbeitsplätzen schwierig sein, wobei ein und derselbe Ansatz sich möglicherweise nicht für alle Situationen eignet. Es gibt jedoch allgemein anerkannte bewährte Verfahren. Beispielsweise können Messinstrumente mit geringer Messunsicherheit eingesetzt, und es kann sichergestellt werden, dass rückverfolgbare Kalibrierungen für Messinstrumente verwendet werden (was systematische Fehler verringert). Zur Verringerung von Zufallsfehlern sollten bewährte Messtechniken angewandt werden wie die Wiederholung und die Mittelung von Messungen.

In vielen CENELEC-Produktnormen wird zunehmend auf einen Hybridansatz zurückgegriffen, bei dem eine Messung direkt mit den Grenzwerten verglichen werden kann, sofern ein bestimmter maximaler Grad der Messunsicherheit nicht überschritten wird. Wird der maximale Grad der Messunsicherheit überschritten, fließt die Unsicherheit direkt in die Messungen oder Grenzwerte ein, um strengere Konformitätskriterien anzulegen und die zu große Unsicherheit auszugleichen.

Allgemein liegen die Werte für die maximal zulässige Unsicherheit bei Messungen elektromagnetischer Felder im selben Größenbereich wie die Genauigkeits- und Präzisionswerte, die mit den gängigen Messinstrumenten und Kalibrierungsverfahren erhalten werden.

Technische Normen sind hilfreiche Informationsquellen, um zu erfahren, wie sich verschiedene Unsicherheitselemente kombinieren lassen, um eine Gesamtab schätzung zu erhalten. Messunsicherheitsbudgets können ein hilfreiches Instrument bei der Abschätzung der Messunsicherheit in Verbindung mit der durch elektromagnetische Felder verursachten Exposition sein. Sie werden in verschiedenen auf elektromagnetische Felder bezogenen Produktnormen behandelt. Ein gutes Beispiel hierfür enthält die Norm EN 50413, eine Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern. Dieses Beispiel kann in Situationen verwendet werden, in denen technologie- oder industriespezifische Normen nicht verfügbar sind.

Vorsicht ist geboten, wenn ein zulässiger Unsicherheitsbereich angewendet wird, um sicherzustellen, dass die Exposition eines Arbeitnehmers die in der EMF-Richtlinie angegebenen Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerte nicht überschreitet. In Artikel 5 Absatz 8 der EMF-Richtlinie steht: „Die Exposition der Arbeitnehmer darf die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche und sensorische Wirkungen nicht überschreiten, es sei denn, die Bedingungen entweder gemäß Artikel 10 Buchstabe a oder c oder gemäß Artikel 3 Absatz 3 oder Artikel 3 Absatz 4 sind erfüllt. Werden die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen und für sensorische Wirkungen trotz der vom Arbeitgeber durchgeführten Maßnahmen überschritten, so trifft der Arbeitgeber unverzüglich Maßnahmen, um die Exposition auf einen Wert unterhalb der Expositionsgrenzwerte zu senken.“

D.5.2 Unsicherheiten im Hinblick auf die Berechnung von Expositionen

Bei Berechnungen der internen und externen Exposition können häufig numerische Fehlerquellen auftreten, wenn die verwendeten Modelle nicht korrekt sind. Deshalb ist es wichtig, die Unsicherheiten in Verbindung mit dosimetrischen Verfahren zu untersuchen. Die unterschiedlichen Fehlerquellen lassen sich in drei Kategorien einteilen, die in den folgenden Abschnitten beschrieben werden.

D.5.2.1 Unsicherheiten in Verbindung mit numerischen Methoden

Zu dieser Kategorie zählen beispielsweise Fehler bei der Berechnung einer internen Dosisgröße wie die spezifische Energieabsorptionsrate (SAR). Zur Bestimmung des SAR-Werts muss das elektrische Feld im Körper korrekt berechnet werden, sowohl im Hinblick auf die Größe als auch auf die Verteilung der SAR. Ist ein örtlicher Spitzenwert über eine bestimmte Masse, z. B. über 10 g einer zusammenhängenden Körperregion, zu mitteln (wie in Anhang III der EMF-Richtlinie angegeben), ergeben sich Fehler, wenn die SAR beispielsweise über ein würfelförmiges Volumen gemittelt wird. Werden die Randbedingungen für die numerische Simulation nicht korrekt festgelegt, schleichen sich aufgrund der artefaktischen Reflexion des elektromagnetischen Feldes zurück in das Rechengebiet Fehler in die Lösung ein. Darüber hinaus kann die Diskretisierung der Lösung, z. B. die Darstellung der Expositionssituation in Würfeln, sogenannte „Staircasing Errors“ (d. h., die Diskretisierung führt an Grenzschichten zu Stufen) zur Folge haben, die erhebliche Probleme bei Berechnungen im Niederfrequenzbereich verursachen können.

D.5.2.2 Unsicherheiten in Verbindung mit Modellen elektromagnetischer Geräte

Zur Simulation einer Expositionssituation muss ein repräsentatives Modell des Geräts erstellt werden, von dem das elektromagnetische Feld erzeugt wird. In diesen Fällen

kann die Lösung fehlerhaft sein, wenn das Gerät im Hinblick auf seine Abmessungen, seine Position, seine Ausgangsleistung, seine Emissionseigenschaften usw. nicht korrekt wiedergegeben wird. Die Position des Geräts ist vor allem dann wichtig, wenn sich die Feldquelle in unmittelbarer Nähe des Körpers befindet, da die von den meisten Geräten erzeugten Felder mit zunehmendem Abstand schnell schwächer werden.

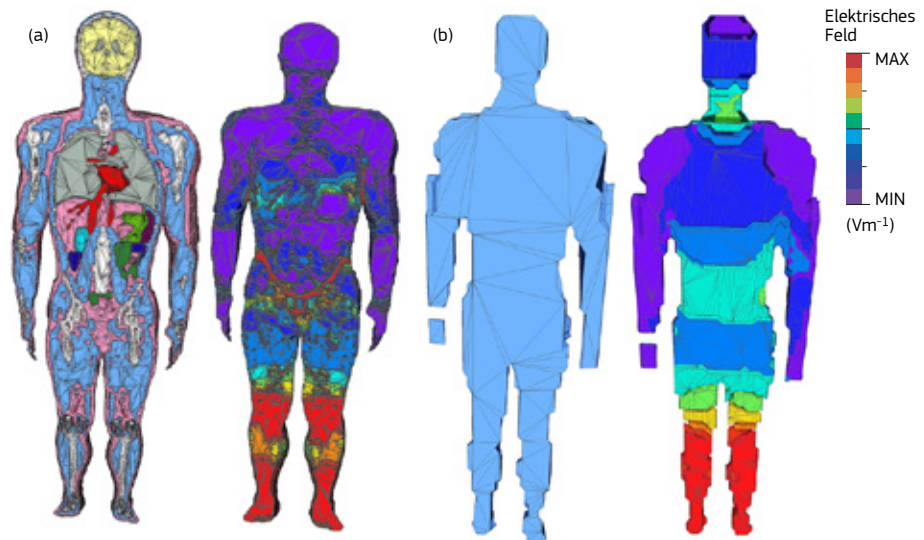
D.5.2.3 Unsicherheiten in Verbindung mit Menschmodellen

Wenn das menschliche Körpermodell den exponierten Arbeitnehmer im Hinblick auf Anatomie, Körperhaltung usw. nicht repräsentativ darstellt, können die Ergebnisse Fehler enthalten. Beispielsweise können bei einem einfachen, homogenen Menschmodell die internen Dosisgrößen (z. B. das induzierte elektrische Feld und die SAR) im Vergleich zu den mit anatomisch realistischen, heterogenen Modellen durchgeführten Berechnungen erhebliche Abweichungen bei den Werten zeigen. Wenn diese einfachen Menschmodelle in numerischen Simulationen verwendet werden, können sie außerdem künstliche Phänomene erzeugen, beispielsweise eine maximale lokale SAR oder tief im Inneren des Körpers induzierte elektrische Felder (Abbildung D26).

Zu den empfohlenen Verfahren zur Verringerung der Ungenauigkeiten bei der Berechnung von Dosisgrößen zählen:

- Vergleich der erhaltenen Ergebnisse unter Verwendung anderer numerischer Methoden für dieselbe Expositionssituation. Werden ähnliche Ergebnisse erhalten, lässt sich dadurch die für eine bestimmte Expositionssituation verwendete numerische Simulation bestätigen.
- Vergleich der numerischen Ergebnisse mit Messungen. Die Simulation der Größen externer Felder, wie elektrische und magnetische Feldstärke, sollte mit gemessenen Werten verglichen werden (sofern vorhanden), um das Modell der Quelle des elektromagnetischen Feldes zu verifizieren.
- Vergleich der Ergebnisse verschiedener Organisationen (Laborvergleiche). Der Vergleich numerischer Ergebnisse mit anderen veröffentlichten Daten, die sich auf die gleiche oder eine ähnliche Expositionssituation beziehen, können einen höheren Grad an Vertrauen in die Gültigkeit der erhaltenen Ergebnisse liefern.
- Konvergenztests. Die zur Berechnung der internen Dosisgrößen im Körper verwendeten numerischen Verfahren sind häufig iterativ (z. B. die Finite-Differenzen-Methode im Zeitbereich (FDTD), die Skalare Potential-Finite-Differenzen-Methode (SPFD), die Finite-Elemente-Methode (FEM) usw.) und stellen somit normalerweise eine Annäherung an eine Lösung dar. Wenn Konvergenz und Stabilität einer Lösung gering sind, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Ergebnisse aus der Simulation ungenau sind.

Abbildung D26 Verteilung des induzierten elektrischen Feldes infolge der Exposition gegenüber einem externen elektrischen Feld mit 50 Hz bei (a) 2 mm Auflösung, heterogenes Menschmodell hoher Qualität und (b) 16 mm Auflösung, homogenes Menschmodell geringer Qualität. Bei der Verwendung homogener Menschmodelle geringer Qualität mit niedriger Auflösung können die berechneten Werte fehlerhaft sein



Wichtig: Mess- und Berechnungsunsicherheiten

Alle Messungen und Berechnungen unterliegen Unsicherheiten. Diese Unsicherheiten sind stets zu quantifizieren und bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Die Vorgehensweise für die Behandlung von Unsicherheiten ist je nach nationalen Rechtsvorschriften und Praktiken unterschiedlich. Häufig wird der „Shared Risk“-Ansatz verwendet, jedoch verlangen einige Behörden unter Umständen den additiven Ansatz.

ANHANG E

INDIREKTE AUSWIRKUNGEN UND BESONDERS GEFÄHRDETE ARBEITNEHMER

Nach der EMF-Richtlinie müssen die Arbeitgeber im Rahmen der Risikobewertungen indirekte Auswirkungen sowie besonders gefährdete Arbeitnehmer speziell berücksichtigen. Abgesehen von den in Tabelle E1 unten aufgeführten drei Ausnahmen (weitere Einzelheiten hierzu enthält Abschnitt 6.2) sieht die EMF-Richtlinie keine Auslöseschwellen oder anderen Vorgaben für die Definition vor, unter welchen Bedingungen Felder keine Gefährdung darstellen. Dieser Anhang enthält weiterführende Erläuterungen zu der Schwierigkeit bei der Definition der Bedingungen, unter denen Felder keine Gefährdung darstellen, und bietet Arbeitgebern, die diesbezügliche Risikobewertungen durchführen müssen, zusätzliche Hilfestellung.

Tabelle E1 Auslöseschwellen für indirekte Auswirkungen mit Querverweisen auf ausführliche Informationen im vorliegenden Leitfaden

Auslöseschwellen für indirekte Auswirkungen	Abschnitt
Störungen bei aktiven implantierten medizinischen Geräten durch statische Magnetfelder	6.2.1
Verletzungsrisiko durch Anziehung und Projektilwirkung durch statische Magnetfelder	6.2.1
Kontaktströme durch zeitvariable Felder < 110 MHz	6.2.2

E.1 Indirekte Auswirkungen

Indirekte Auswirkungen ergeben sich, wenn das Vorhandensein eines Gegenstands in einem elektromagnetischen Feld eine Gefahr für die Sicherheit oder Gesundheit hervorrufen kann. In der EMF-Richtlinie sind fünf indirekte Auswirkungen aufgeführt, die in jeder Risikobewertung berücksichtigt werden sollten:

- Störungen bei elektronischen medizinischen Vorrichtungen und anderen Geräten;
- Verletzungsrisiko durch die Projektilwirkung ferromagnetischer Gegenstände in statischen Magnetfeldern;
- Auslösung von elektrischen Zündvorrichtungen (Detonatoren);
- Brände und Explosionen, verursacht durch die Entzündung von entzündlichen Materialien durch Funkenbildung;
- Kontaktströme.

Außerdem sollten alle weiteren indirekten Auswirkungen berücksichtigt werden, die auftreten können (siehe Abschnitt E1.6).

Generell treten indirekte Auswirkungen nur unter bestimmten Bedingungen auf, und häufig genügt die Feststellung, dass solche Bedingungen an einem bestimmten Arbeitsplatz nicht vorhanden sind, was bedeutet, dass das Risiko bereits minimal ist. Manchmal ist das jedoch nicht der Fall, und diese Situationen erfordern eine eingehendere Bewertung.

E.1.1 Störungen bei elektronischen medizinischen Vorrichtungen und anderen Geräten

Elektromagnetische Felder können die korrekte Funktion elektronischer medizinischer Geräte ebenso stören, wie sie Störungen bei anderen elektronischen Geräten verursachen können. Da aber elektronischen medizinischen Geräten unter Umständen eine lebenswichtige Funktion bei einer medizinischen Behandlung zukommt, kann ihre Störung schwerwiegende Folgen haben.

Seit dem 30. Juni 2001 müssen alle in der Europäischen Union in Verkehr gebrachten oder in Betrieb genommenen elektronischen medizinischen Geräte die *grundlegenden Anforderungen* der Medizinprodukte-Richtlinie (93/42/EWG in der geänderten Fassung) erfüllen. Tatsächlich dürften viele der nach dem 1. Januar 1995 in Betrieb genommenen medizinischen Geräte die Anforderungen der Medizinprodukte-Richtlinie ebenfalls erfüllt haben.

In den grundlegenden Anforderungen ist u. a. festgelegt, dass Produkte so ausgelegt und hergestellt sein müssen, dass Risiken im Zusammenhang mit vernünftigerweise vorhersehbaren Umgebungsbedingungen, wie z. B. Magnetfelder, elektrische Fremdeinflüsse und elektrostatische Entladungen, ausgeschlossen oder so weit wie möglich verringert werden.

In der Praxis erfüllen die Hersteller die grundlegenden Anforderungen der Medizinprodukte-Richtlinie, indem sie ihre Produkte unter Einhaltung einer entsprechenden harmonisierten Norm herstellen. Die wichtigste auf die Störfestigkeit von Produkten bezogene Norm ist die EN 60601-1-2, obwohl auch andere Normen diesbezügliche Anforderungen enthalten können. Während die grundlegenden Anforderungen hinsichtlich der Störfestigkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern in der Medizinprodukte-Richtlinie und in der Richtlinie über aktive implantierbare medizinische Geräte identisch sind (siehe unten), war dies bei der Auslegung in den harmonisierten Normen nicht der Fall. Die verschiedenen Fassungen der EN 60601-1-2 bis einschließlich der dritten Ausgabe (2007) enthielten die Anforderung, dass die grundlegenden Funktionen von Geräten bei folgenden Expositionen nicht beeinträchtigt werden dürfen:

- netzfrequente Magnetfelder mit bis zu 3 A/m (3,8 μ T);
- elektrische Feldstärken von bis zu 3 V/m bei Frequenzen von 80 MHz bis 2,5 GHz (es handelt sich typischerweise um amplitudenmodulierte Felder bei 1 kHz);
- für Lebenserhaltungssysteme wurde die Störfestigkeit gegenüber elektrischen Feldstärken im Bereich zwischen 80 MHz und 2,5 GHz auf 10 V/m erhöht.

Diese Werte liefern die Grundlage zur Bewertung der möglicherweise bei elektronischen medizinischen Geräten auftretenden Störungen.

Ausgabe 4 (2014) der EN 60601-1-2 befasst sich mit der Übereinstimmung zwischen der Medizinprodukte-Richtlinie und der Richtlinie über aktive implantierbare medizinische Geräte. In dieser Ausgabe wird von den Herstellern die Angabe der geeigneten Einsatzumgebungen verlangt, und der Störfestigkeitsgrad für Geräte, die für die medizinische Versorgung in häuslicher Umgebung gedacht sind, wurde erhöht.

In der Norm wird auch eingeräumt, dass die Erzielung der angegebenen Störfestigkeitsgrade für Geräte zur Überwachung physiologischer Parameter schwierig ist. Deshalb ist eine geringere Störfestigkeit für solche Geräte zulässig, wobei erwartet wird, dass sie in Umgebungen mit geringen Feldstärken eingesetzt werden.

E.1.2 Verletzungsrisiko durch die Projektilwirkung ferromagnetischer Gegenstände in statischen Magnetfeldern

In starken statischen Magnetfeldern können ferromagnetische Gegenstände starke Anziehungskräfte erfahren, die zu einer Bewegung des Gegenstands führen können. Unter bestimmten Umständen können solche Bewegungen ein Verletzungsrisiko durch die Projektilwirkung dieser Gegenstände darstellen. Das Risiko einer Projektilwirkung hängt von mehreren Faktoren ab, beispielsweise vom Magnetfeldgradienten, der Masse und der Form des Gegenstands sowie vom Material, aus dem der Gegenstand besteht.

Die EMF-Richtlinie gibt eine Auslöseschwelle von 3 mT an, um die Projektilwirkung ferromagnetischer Gegenstände im Streufeld von Quellen mit hohen Feldstärken (> 100 mT) zu verhindern.

E.1.3 Auslösung von elektrischen Zündvorrichtungen (Detonatoren)

Es gibt die gesicherte Erkenntnis, dass elektromagnetische Felder unter bestimmten Umständen die Auslösung von elektrischen Zündvorrichtungen (Detonatoren) bewirken können. Dieser Effekt hängt davon ab, ob am Arbeitsplatz zum einen elektrische Zündvorrichtungen und zum anderen ausreichend starke Felder für deren Auslösung vorhanden sind. Für die Mehrzahl der Arbeitsplätze dürfte dieses Thema nicht relevant sein. Einige Arbeitgeber, beispielsweise im Verteidigungssektor, müssen dieses Risiko aber unter Umständen berücksichtigen.

Da elektrische Zündvorrichtungen auch ohne das Vorliegen starker elektromagnetischer Felder eine Gefahr darstellen können, unterliegt ihre Lagerung und Verwendung normalerweise strengen Kontrollen, und es bestehen Beschränkungen im Hinblick auf die Tätigkeiten, die in der Nähe dieser Vorrichtungen ausgeführt werden dürfen, wozu auch die Erzeugung elektromagnetischer Felder zählt.

Ein Europäischer Technischer Bericht (CLC/TR 50426) enthält Leitlinien für die Bewertung des Risikos einer unbeabsichtigten Auslösung von Zündvorrichtungen mit Brückendraht. Der Bericht liefert Methoden zur Bewertung des Risikos, dass dem Feld ausreichend Energie entzogen werden kann, um eine Zündung auszulösen.

Eventuell ist ein weiterer Europäischer Technischer Bericht (CLC/TR 50404) hilfreich, der Unterstützung zur Risikobewertung und zu Maßnahmen bietet, um die Auslösung explosiver Materialien durch statische Elektrizität zu verhindern.

E.1.4 Brände und Explosionen, verursacht durch die Entzündung von entzündlichen Materialien durch Funkenbildung

Es ist allgemein bekannt, dass die Wechselwirkung von elektromagnetischen Feldern mit Gegenständen zur Funkenbildung führen kann, durch die in explosionsfähigen Atmosphären Brände und Explosionen verursacht werden können. Da für diesen Effekt sowohl entzündliche Materialien als auch ausreichende Feldstärken für deren Entzündung vorhanden sein müssen, dürfte dieses Risiko für die meisten Arbeitsplätze nicht relevant sein; jedoch muss dieses Risiko unter Umständen von manchen Arbeitgebern in bestimmten Sektoren berücksichtigt werden.

Entzündliche Materialien können dem Risiko einer Entzündung durch verschiedene Quellen ausgesetzt sein. Die übliche Vorgehensweise ist demnach, die Bereiche zu ermitteln, in denen möglicherweise entzündliche Materialien vorhanden sind, und die Tätigkeiten in den betreffenden Bereichen zu beschränken. Entsprechende Beschränkungen umfassen in der Regel die Begrenzung der Erzeugung elektromagnetischer Felder in diesem Bereich.

Ein Europäischer Technischer Bericht (CLC/TR 50427) enthält Leitlinien zur Verhinderung der unbeabsichtigten Entzündung explosionsfähiger Atmosphären durch hochfrequente elektromagnetische Felder. Der Bericht enthält Methoden zur Beurteilung der Energie, die dem Feld entzogen werden kann, und zum Vergleich dieses Werts mit der Energie, die zur Entzündung der unterschiedlichen Klassen entzündlicher Materialien notwendig ist.

Eventuell ist ein weiterer Europäischer Technischer Bericht (CLC/TR 50404) hilfreich, der Unterstützung zur Risikobewertung und zu Maßnahmen bietet, um die Entzündung explosionsfähiger Atmosphären durch statische Elektrizität zu verhindern.

E.1.5 Kontaktströme

Der Kontakt einer Person mit einem leitfähigen Gegenstand in einem elektromagnetischen Feld, wenn nur entweder die Person oder der Gegenstand geerdet ist, kann einen Stromfluss durch den Berührungspunkt zum Erdboden verursachen. Dies kann zu einem elektrischen Schlag und Verbrennungen führen.

In der EMF-Richtlinie sind Auslöseschwellen für Kontaktströme angegeben, um einen schmerzhaften elektrischen Schlag zu verhindern. Auch wenn der Kontaktstrom unter den Auslöseschwellen liegt, kann eine Person beim Berühren des Gegenstands immer noch eine Wirkung verspüren. Obwohl diese Wirkung nicht gesundheitsschädlich ist, kann sie jedoch störend sein. Empfehlungen zur Reduzierung solcher Wirkungen auf ein Mindestmaß enthält Abschnitt 9.4.8.

E.1.6 Nicht näher beschriebene indirekte Auswirkungen

Alle weiteren indirekten Auswirkungen, die auftreten können, sollten berücksichtigt werden. Zu diesen Auswirkungen zählen:

- Wechselwirkung von Feldern mit Abschirmungen oder Metallteilen in der Arbeitsumgebung, die zu Erhitzung und thermischen Gefahren führen kann;
- Wechselwirkung von Feldern mit elektronischen Systemen oder Steuersystemen am Arbeitsplatz, was eine Störung oder Fehlfunktion dieser Systeme zur Folge haben kann;
- Wechselwirkung von Feldern mit metallischen Gegenständen oder Metallteilen, die direkt oder nahe am Körper getragen werden;
- Wechselwirkung von Feldern mit elektronischen Komponenten oder Geräten, die direkt oder nahe am Körper getragen werden.

E.2 Besonders gefährdete Arbeitnehmer

In der EMF-Richtlinie werden vier Gruppen von Arbeitnehmern genannt, die durch elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz besonders gefährdet sein können:

- Arbeitnehmer, die aktive implantierte medizinische Geräte tragen;
- Arbeitnehmer, die passive implantierte medizinische Geräte tragen;
- Arbeitnehmer, die medizinische Geräte am Körper tragen;
- schwangere Arbeitnehmerinnen.

Arbeitgeber sollten sich ebenfalls der Möglichkeit bewusst sein, dass weitere Risiken für derzeit nicht näher bezeichnete Gruppen von Arbeitnehmern bestehen können (siehe Abschnitt E2.5).

Die genannten Arbeitnehmergruppen werden durch die in der EMF-Richtlinie angegebenen Auslöseschwellen und Expositionsgrenzwerte unter Umständen nicht ausreichend geschützt. Wenn Arbeitgeber feststellen, dass diese Gruppen gefährdet sein könnten, sind Mitarbeiter durch einführende Unterweisungen sowie Besucher entsprechend zu informieren. Dabei sollten die betreffenden Arbeitnehmer ermutigt

werden, mit ihren Vorgesetzten zu sprechen, damit eine spezielle Risikobewertung durchgeführt werden kann.

E.2.1 Arbeitnehmer mit aktiven implantierten medizinischen Geräten (AIMD)

E.2.1.1 Hintergrund

Es gibt viele aktive Geräte, die Menschen aus medizinischen Gründen implantiert werden. Dazu zählen:

- Herzschrittmacher;
- Defibrillatoren;
- Cochlea-Implantate;
- Hirnstammimplantate;
- Innenohrprothesen;
- Neurostimulatoren;
- Medikamenteninfusionspumpen;
- Retina-Encoder.

Allgemein sind Geräte, die zu Überwachungs- oder Stimulationszwecken mit Elektroden an den Patienten angeschlossen sind, stöempfindlicher als andere Geräte. Der Grund ist, dass die Elektroden eine Schleife bilden, die eine Einkopplung des elektromagnetischen Feldes ermöglicht. Selbst unter den Geräten mit Elektroden kann die Empfindlichkeit je nach Funktion und Aufbau schwanken. Geräte zur Überwachung neurophysiologischer Signale im Körper sind am stöempfindlichsten, da sie dazu ausgelegt sind, kleinste Spannungsänderungen an den Elektroden zu erkennen. Solche Spannungsänderungen können ohne Weiteres durch die Wechselwirkung mit Feldern erzeugt werden, jedoch hängt die Höhe der induzierten Spannung von der Länge, der Art und der Lage der Elektroden im Körper ab. Bei Geräten mit nur einer Elektrode, die eine große wirksame Schleifenfläche bilden kann, ist eine starke Einkopplung des Feldes möglich, während bipolare Geräte (mit zwei Elektroden) generell weniger empfindlicher sind, da diese Elektroden eine wesentlich kleinere wirksame Schleifenfläche bilden.

Herzschrittmacher enthalten normalerweise einen Reed-Kontakt (eine Art magnetisch betätigter Schalter), der durch starke Magnetfelder vom „Bedarfsmodus“ (Demand-Modus) in den „Stimulationsmodus“ umgeschaltet werden kann. Einige aktive implantierte medizinische Geräte sind so ausgelegt, dass sie für Programmierzwecke hochfrequente oder induktiv gekoppelte Signale überwachen, während andere Geräte wie Cochlea-Implantate die induktive Kopplung im Rahmen des normalen Betriebs nutzen. Alle diese Geräte sind aufgrund ihres Einsatzzwecks empfindlich gegenüber externen Feldern und sind demzufolge durch das Vorhandensein bestimmter Felder beeinflussbar.

Seit dem 1. Januar 1995 müssen alle in der Europäischen Union in Verkehr gebrachten aktiven implantierten medizinischen Geräte die *grundlegenden Anforderungen* der Richtlinie über aktive implantierbare medizinische Geräte (90/385/EWG in der geänderten Fassung) erfüllen. In den grundlegenden Anforderungen ist u. a. festgelegt, dass Produkte so ausgelegt und hergestellt sein müssen, dass Gefahren im Zusammenhang mit vernünftigerweise vorhersehbaren Umgebungsbedingungen, insbesondere im Zusammenhang mit Magnetfeldern, elektrischen Fremdeinflüssen und elektrostatischen Entladungen, ausgeschlossen oder so weit wie möglich verringert werden.

In der Praxis erfüllen die Hersteller die grundlegenden Anforderungen der Richtlinie über aktive implantierbare medizinische Geräte, indem sie ihre Produkte unter Einhaltung

einer entsprechenden harmonisierten Norm herstellen. Maßgeblich harmonisierte Normen sind beispielsweise die Norm EN 45502-1 und die EN 45502-2-Normenreihe. Die Störfestigkeitsanforderungen in diesen Normen sind aus den in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates angegebenen Referenzwerten abgeleitet, jedoch unter Ausschluss der zeitlichen Mittelung für hochfrequente Felder und unter der Annahme, dass das Gerät gemäß guter medizinischer Praxis implantiert wird.

E.2.1.2 Leitlinien für die Bewertung

Grundsätzlicher Ansatz

Zunächst ist festzustellen, welche Geräte am Arbeitsplatz vorhanden sind und welche Tätigkeiten ausgeführt werden und ob bekannt ist, dass einer der Arbeitnehmer ein aktives implantiertes medizinisches Gerät trägt. Es ist zu bedenken, dass nicht alle Arbeitnehmer angeben, dass sie ein aktives Implantat tragen. Schätzungsweise geben bis zu 50 % der Arbeitnehmer diese Information nicht preis, weil sie Auswirkungen auf ihre Beschäftigung befürchten. Der Arbeitgeber muss sich dieser mangelnden Auskunftsbereitschaft bewusst sein, wenn er Informationen einholt.

Sind nur die in Tabelle 3.2 in der ersten Spalte aufgeführten Arbeitsmittel und Tätigkeiten vorhanden, müssen normalerweise keine weiteren Maßnahmen ergriffen werden, es sei denn, es wurde festgestellt, dass ein Arbeitnehmer ein außergewöhnlich empfindliches aktives implantiertes medizinisches Gerät trägt (siehe unten).

Falls keine Arbeitnehmer mit aktiven Implantaten ermittelt werden konnten, sind normalerweise keine weiteren Maßnahmen erforderlich. Arbeitgeber sollten jedoch weiterhin darauf achten, dass neu eingestellte Arbeitnehmer oder Besucher aktive implantierte medizinische Geräte tragen oder bereits im Betrieb arbeitenden Mitarbeitern solche Geräte implantiert werden können.

Wurden Arbeitnehmer mit aktiven implantierten medizinischen Geräten ermittelt, sollte der Arbeitgeber möglichst viele Informationen zu dem oder den Geräten sammeln. Der Arbeitnehmer sollte bei diesem Prozess mitwirken, und gegebenenfalls sollte Unterstützung von einem Arbeitsmediziner und/oder vom behandelnden Arzt eingeholt werden.

Wenn der Arbeitnehmer ein älteres Gerät trägt oder er ausdrücklich darauf hingewiesen wurde, dass sein aktives implantiertes medizinisches Gerät so implantiert wurde, dass es außergewöhnlich empfindlich ist, muss eine spezielle Risikobewertung durchgeführt werden. Diese sollte auf den bekannten Eigenschaften des Geräts beruhen.

In den meisten Situationen dürfte eine allgemeine Bewertung, wie weiter unten beschrieben, möglich sein. Geht aus dieser Bewertung hervor, dass die normale Arbeitstätigkeit des Arbeitnehmers eine Gefährdung für ihn darstellt, ist die einfachste Lösung, den Arbeitsplatz oder die Arbeitstätigkeit entsprechend anzupassen. Gestaltet sich diese Lösung als schwierig, möchte der Arbeitgeber unter Umständen eine spezielle Bewertung in Betracht ziehen.

Ältere aktive implantierte medizinische Geräte

Ältere aktive Implantate, die aus der Zeit vor dem 1. Januar 1995 stammen, haben unter Umständen nicht dieselbe Störfestigkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern wie moderne Geräte. Es ist nicht bekannt, wie viele dieser älteren Geräte noch in Gebrauch sind. Die Batterien von aktiven implantierten medizinischen Geräten haben eine begrenzte Lebensdauer, und es ist möglich, dass im Zuge des Austauschs der Batterien das gesamte Gerät oder Teile davon ausgetauscht werden. Bei Herzschrittmachern ist es beispielsweise gängige Praxis, beim Austausch der Batterien auch den gesamten Impulsgenerator auszutauschen, wobei andere Elemente, wie z. B. die Elektroden, normalerweise an Ort und Stelle verbleiben. Herzschrittmacher stellen nach wie vor die Mehrzahl der Implantate dar, was auch vor 1995 sicherlich der Fall war. Diese älteren Herzschrittmacher wurden in der Regel durch statische Magnetfelder unter 0,5 mT, durch niederfrequente elektrische Felder unter 2 kV/m und durch niederfrequente magnetische Felder unter 20 μ T nicht beeinflusst.

Spezielle Warnhinweise

Alle Patienten mit aktiven implantierten medizinischen Geräten erhalten allgemeine Warnhinweise im Hinblick auf zu meidende Situationen, die zu einer Störung des Implantats führen können. Diese Warnungen sollten befolgt werden, sie haben aber keinen Einfluss auf die unten stehende allgemeine Bewertung der Risiken. Gelegentlich können aktive Implantate aus medizinischen Gründen in einer nicht standardmäßigen Konfiguration oder unter Verwendung nicht standardmäßiger Einstellungen implantiert werden, was spezielle Warnhinweise erfordert. Dies kann auch aufgrund des klinischen Zustands des Patienten notwendig sein. Wenn spezielle Warnhinweise vorliegen, muss eine spezielle Bewertung durchgeführt werden.

Allgemeine Bewertung

Die allgemeine Bewertung folgt dem in der Norm EN 50527-1 dargelegten Verfahren und basiert auf den Störfestigkeitsanforderungen der auf aktive implantierte medizinische Geräte bezogenen harmonisierten Normen. Demnach dürfte keine Beeinflussung der Implantate auftreten, sofern die Felder – ausgenommen statische Magnetfelder – die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates angegebenen Momentanwerte der Referenzwerte nicht überschreiten. Außerdem dürften aktive implantierte medizinische Geräte von statischen Magnetfeldern unter 0,5 mT unbeeinflusst bleiben.

Spezielle Bewertung

In manchen Situationen kann eine spezielle Bewertung notwendig sein, beispielsweise wenn:

- Arbeitnehmer ältere aktive implantierte medizinische Geräte tragen (siehe oben);
- Arbeitnehmer spezielle Warnhinweise erhalten haben;
- es schwierig ist, den Arbeitsplatz oder die Arbeitstätigkeit entsprechend anzupassen, um sicherzustellen, dass die Exposition die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates angegebenen Referenzwerte nicht überschreitet.

Weitere Informationen zu speziellen Bewertungen enthält Anhang A der Norm EN 50527-1. Die Informationsschrift BGI/GUV-I 5111 der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung bietet weitere Hilfestellung.

E.2.2 Arbeitnehmer mit passiven implantierten medizinischen Geräten

Zahlreiche medizinische Implantate können aus Metall bestehen. Dazu zählen künstliche Gelenke, Stifte, Platten, Schrauben, Wundklammern, Aneurysmenklammern, Stents, Herzklappenprothesen, Anuloplastie-Ringe, metallhaltige Verhütungsimplantate, einzelne aktive implantierte medizinische Geräte und Zahnfüllungen.

Bestehen diese Geräte aus ferromagnetischen Materialien, können bei starken statischen Magnetfeldern Drehmomente und Kräfte auf sie wirken. Laut aktuellen Erkenntnissen dürften die durch statische magnetische Flussdichten von 0,5 mT oder darunter hervorgerufenen Wirkungen nicht ausreichen, um eine Gesundheitsgefährdung darzustellen (ICNIRP 2009). Diese Aussage stimmt mit der in der EMF-Richtlinie angegebenen Auslöseschwelle für den Ausschluss einer Beeinflussung aktiver implantierter medizinischer Geräte in statischen Magnetfeldern überein.

In zeitvariablen Feldern können metallische Implantate das im Körper induzierte elektrische Feld beeinflussen, wodurch es zu lokalen Regionen mit starken Feldern kommen kann. Darüber hinaus können metallische Implantate einer induktiven Erwärmung ausgesetzt sein, was eine Erwärmung und infolgedessen eine thermische Schädigung des umliegenden Gewebes verursachen kann. Letztendlich kann dies eine Fehlfunktion des Implantats zur Folge haben.

Es liegen nur wenige Daten vor, auf die sich die Risikobewertung für Personen mit passiven Implantaten stützen könnte. Ein maßgeblicher Faktor ist die Frequenz des elektromagnetischen Feldes, da die Eindringtiefe des Feldes in den Körper bei

steigenden Frequenzen abnimmt. Demnach dürften Wechselwirkungen zwischen hochfrequenten Feldern und der Mehrzahl der Implantate, die in eine umgebende Körpermasse eingebettet sind, gering sein oder gar nicht auftreten.

Eine induktive Erwärmung, die so stark ist, dass sie das umliegende Gewebe schädigen kann, hängt davon ab, ob dem Feld ausreichend Energie entzogen werden kann. Einflussfaktoren sind hierbei die Abmessungen und die Masse des Implantats sowie die Stärke und die Frequenz des zugänglichen Feldes. Bei Einhaltung der in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates angegebenen zulässigen Werte kann normalerweise davon ausgegangen werden, dass ein ausreichender Schutz gegeben ist, wobei stärkere Felder unter bestimmten Umständen gerechtfertigt sein können.

E.2.3 Arbeitnehmer, die medizinische Geräte am Körper tragen

Am Körper getragene medizinische Geräte fallen in den Anwendungsbereich der Medizinprodukte-Richtlinie (93/42/EWG). Da spezifischere Informationen fehlen, gelten dieselben Hinweise zur Risikobewertung wie bei Störungen anderer elektronischer medizinischer Geräte, die in Abschnitt E.1.1 beschrieben sind.

Generell ist davon auszugehen, dass am Körper getragene medizinische Geräte nicht stöempfindlicher sind als aktive Implantate, und Geräte, die nicht zur Überwachung physiologischer Parameter dienen, können eine geringere Stöempfindlichkeit aufweisen als einige aktive Implantate. Deshalb ist es stets empfehlenswert, sich an den Hersteller des medizinischen Geräts zu wenden, um Informationen zur Störfestigkeit zu erhalten.

E.2.4 Schwangere Arbeitnehmerinnen

Berichten zufolge können schädliche Wirkungen auftreten, wenn Schwangere niederfrequenten Magnetfeldern ausgesetzt sind. Die Beweise für einen Zusammenhang zwischen entsprechenden Wirkungen und der Exposition gegenüber niederfrequenten Feldern können jedoch insgesamt als sehr schwach erachtet werden (ICNIRP 2010). Dennoch kam eine Sachverständigengruppe zu der Einschätzung, dass das Nervensystem des sich im Uterus entwickelnden Embryos potenziell induzierten zeitvariablen elektrischen Feldern ausgesetzt sein kann (NRPB 2004). Diese Sachverständigengruppe gelangte zu der Schlussfolgerung, dass eine Begrenzung der Stärke des induzierten elektrischen Feldes auf etwa 20 mV/m einen adäquaten Schutz für das Nervensystem des sich im Uterus entwickelnden Embryos darstellen dürfte. Aus Berechnungen ging hervor, dass dieser Schutz durch Einhaltung der in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates für niederfrequente Felder angegebenen Referenzwerte erzielt werden könnte.

Es existieren überzeugende Beweise, dass eine erhöhte Körpertemperatur von Schwangeren den Schwangerschaftsverlauf beeinträchtigt, wobei das zentrale Nervensystem offenbar besonders betroffen sein kann. Es wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass durch die Begrenzung der gemittelten Ganzkörper-SAR auf 0,1 W/kg bei Schwangeren einen angemessenen Schutz darstellen dürfte (NRPB 2004). Dieser Wert entspricht dem in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates angegebenen Basisgrenzwert von 0,08 W/kg für die Exposition gegenüber Hochfrequenzfeldern.

Für die meisten Arbeitgeber dürfte somit ein pragmatischer Ansatz darin bestehen, die Exposition von schwangeren Arbeitnehmerinnen auf der Grundlage der in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates angegebenen Referenzwerte zu begrenzen. Dies dürfte einen angemessenen Schutz sowohl bei niedrigen als auch bei hohen Frequenzen bieten.

E.2.5 Nicht näher bezeichnete besonders gefährdete Arbeitnehmer

Arbeitgeber sollten sich dessen bewusst sein, dass es derzeit nicht näher bezeichnete Gruppen von besonders gefährdeten Arbeitnehmern geben kann, beispielsweise Arbeitnehmer, die bestimmte Medikamente für anerkannte Beschwerden einnehmen.

ANHANG F

HINWEISE ZUR

MAGNETRESONANZTOMOGRAFIE

Bei der Magnetresonanztomografie (MRT) handelt es sich um eine wichtige medizinische Technologie, die aus der Diagnose und Behandlung von Erkrankungen nicht mehr wegzudenken ist. Darüber hinaus ist sie eine wertvolle Technik in der medizinischen Forschung. Die Magnetresonanztomografie wird mit schätzungsweise mehreren zehn Millionen Scans jährlich in der Europäischen Union weithin eingesetzt. Bei dieser Technik werden Patienten oder Probanden absichtlich starken elektromagnetischen Feldern ausgesetzt, um detaillierte Bilder zu erhalten; auch der Gehirnstoffwechsel und die Gehirnaktivität können dadurch abgebildet werden. Im Gegensatz zu anderen bildgebenden Verfahren wie der Computertomografie (CT) hat die MRT den Vorteil, dass die Person keiner ionisierenden Strahlung ausgesetzt wird. Auch sind keine gesundheitsschädlichen Langzeitwirkungen bekannt.

Die Exposition von Patienten und Probanden gegenüber elektromagnetischen Feldern in einem MRT-Gerät fällt nicht in den Anwendungsbereich der EMF-Richtlinie. Die Verteilung des elektromagnetischen Feldes im MRT-Gerät bedingt sich in erster Linie durch die Effizienz der Bildaufnahme und die Bildqualität. Zudem sind die Hersteller bestrebt, Streufelder außerhalb des Geräts auf ein Minimum zu begrenzen, um die Belastung des im Umfeld eines MRT-Geräts arbeitenden Personals zu verringern. Statische Magnetfelder dürfen gegebenenfalls die Auslöseschwellen für indirekte Auswirkungen überschreiten (siehe Kapitel 6). Außerdem dürfen Arbeitnehmer unter bestimmten Umständen auch Feldern ausgesetzt sein, die einen Expositionsgrenzwert überschreiten (siehe Tabelle F1). Die Ableitung eines Expositionsgrenzwerts beinhaltet eine Sicherheitstoleranz; das bedeutet, dass Expositionen über dem Expositionsgrenzwert bei Arbeitnehmern nicht zwangsweise Wirkungen hervorrufen. Die routinemäßige Exposition von Patienten und Probanden gegenüber den starken Feldern innerhalb eines MRT-Geräts wird als sicher erachtet (ICNIRP 2004, 2009).

Der Nutzen, den die Magnetresonanztomografie als grundlegende Technik im Gesundheitswesen hat, ist allgemein anerkannt. Deshalb ist nach Artikel 10 der EMF-Richtlinie unter bestimmten Umständen eine Ausnahme von der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte möglich. Der vorliegende Leitfaden wurde unter Einbeziehung von mit der Magnetresonanztomografie befassten Kreisen erstellt, um Arbeitgebern gegebenenfalls praktische Hilfestellung bei der Erfüllung dieser Voraussetzungen zu leisten. Gesundheitsdienstleister, welche Untersuchungen mittels MRT anbieten, verfügen über Experten in den Bereichen Radiografie, Radiologie und Medizinphysik, die jeweils konsultiert werden sollten, um Informationen zur Einhaltung der Anforderungen der EMF-Richtlinie zu erhalten. Auch Gerätehersteller und Forschungsinstitute verfügen über solche Experten und sollten sich ebenfalls an diese wenden.

F.1 Auslegung und Konstruktion von MRT-Geräten

MRT-Geräte dienen dazu, ein komplexes elektromagnetisches Umfeld innerhalb des Gerätetunnels zu erzeugen. Hierbei sind drei Hauptkomponenten zu betrachten:

- Statische Magnetfelder: Die Mehrheit der im klinischen Einsatz befindlichen Geräte arbeitet mit 1,5 oder 3 T, wobei offene Geräte, die eingesetzt werden, wenn der Zugang zum Patienten erforderlich ist, normalerweise niedrigere magnetische Flussdichten (0,2 bis 1 T) aufweisen. Es gibt auch eine geringe Zahl von Geräten mit sehr starken Feldern von bis zu 9,4 T, diese werden aber vorwiegend zu Forschungszwecken eingesetzt.

- Wechselnde niederfrequente magnetische Gradientenfelder: Hierbei werden drei orthogonale Gradienten verwendet, die in rascher Folge ein- und ausgeschaltet werden, um Ortsdaten in Bezug auf die gemessenen MR-Signale zu erzeugen. Hierbei handelt es sich um komplexe gepulste Wellenformen, die je nach Art der Bildaufnahme unterschiedlich sind. Gepulste Wellenformen entsprechen Frequenzen im Bereich zwischen 0,5 und 5 kHz.
- Bei der Larmorfrequenz angewandte Hochfrequenzfelder, wobei die Larmorfrequenz von der statischen magnetischen Flussdichte abhängt (62 bis 64 MHz und 123 bis 128 MHz für Geräte mit 1,5 T bzw. 3 T).

Tabelle F1 Vergleich der von der Magnetresonanztomografie ausgehenden Exposition von Arbeitnehmern mit Grenzwerten und resultierenden Wirkungen

Beispielhafte Expositionen von Arbeitnehmern	Grenzwerte	Berichtete Wirkungen
Statisches Magnetfeld		
1,0 T, 1,5 T, 3,0 T, 7,0 T	2 T, 8 T	Schwindel ohne Bewegung
< 2 m/s entspricht < 3 T/s 0,3 V/m (Spitzenwert) im Gehirn oder 2 V/m (Spitzenwert) im Körper	0,05 V/m (RMS) (Expositionsgrenzwert für sensorische Wirkungen) 0,8 V/m (RMS) (Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen)	Schwindel und Übelkeit
Wechselnde Gradientenfelder		
100 bis 1 500 Hz Durch Werte für das periphere Nervensystem des Patienten begrenzt, die den geschätzten Werten für dB/ dt und den RMS-Werten für induzierte elektrische Felder in Gehirn und Rumpf entsprechen An normalen Orten des Patienten: < 40 T/s (RMS) = 4 V/m im Gehirn < 40 T/s (RMS) = 8 V/m im Rumpf An den ungünstigsten zugänglichen Orten für eingreifendes Personal: < 120 T/s (Spitzenwert) = 8 V/m im Gehirn < 40 T/s (Spitzenwert) = 2 V/m im Rumpf	0,8 V/m (RMS)	Kribbeln, Schmerzen oder Muskelkontraktionen, wenn Grenzwerte für das periphere Nervensystem im kontrollierten Modus überschritten werden Von Wirkungen auf das zentrale Nervensystem wurde von MRT- Personal nicht berichtet; die Berichte beziehen sich auf den transkraniellen Magnetstimulator mit Werten > 500 T/s bzw. > 50-100 V/m
Hochfrequenzfelder		
42, 64, 128, 300 MHz Ganzkörper-SAR auf < 4 W/kg im Isozentrum begrenzt entspricht Ganzkörper-SAR: < 0,4 W/kg auf halbem Weg im Geräteinnern < 0,1 W/kg an der Öffnung	0,4 W/kg	Wärmeempfindung und Schwitzen bei Expositionen > 2 W/kg

Von COCIR (European Coordination Committee of the Radiological, Electromedical and Healthcare IT Industry) zur Verfügung gestellte Daten; weitere Daten zur Exposition von Arbeitnehmern können Stam 2014 entnommen werden.

Alle für die Diagnostik und/oder Therapie von Menschen konzipierten MRT-Geräte, die seit dem 30. Juni 2001 in der Europäischen Union in Verkehr gebracht oder in Betrieb genommen wurden, müssen die *grundlegenden Anforderungen* der Medizinprodukte-Richtlinie (93/42/EWG) erfüllen. Diese Richtlinie enthält auch eine allgemeine Anforderung, die besagt, dass die Sicherheit und die Gesundheit der Anwender und gegebenenfalls Dritter nicht gefährdet werden dürfen. Die Hersteller

müssen bei der Auslegung und der Konstruktion der Produkte Lösungen nach dem allgemein anerkannten Stand der Technik wählen, um Risiken auszuschließen oder so weit wie möglich zu verringern. Um Hersteller bei der Einhaltung der grundlegenden Anforderungen zu unterstützen, hat das Europäische Komitee für elektrotechnische Normung (CENELEC) im Auftrag der Europäischen Kommission eine Produktnorm in Bezug auf Magnetresonanzgeräte für die medizinische Diagnostik veröffentlicht (EN 60601-2-33).

Nach der aktuellen Fassung der EN 60601-2-33 müssen die Hersteller Angaben zur räumlichen Verteilung von Feldern machen, wobei diese Informationen in der Regel in das Handbuch zum MRT-Gerät aufzunehmen sind. Anhand dieser Angaben, die für alle Magnetresonanzgeräte und -systeme verfügbar sind, dürften Arbeitgeber diejenigen Bereiche besser ermitteln können, in denen die Expositionsgrenzwerte möglicherweise überschritten werden. Vor Beginn eines jeden Scans müssen MRT-Geräte außerdem Informationen über die ausgegebenen Gradienten und die spezifische Energieabsorptionsrate (SAR) im Hochfrequenzbereich anzeigen. Außerdem müssen die Geräte über Einrichtungen zum Schutz vor übermäßigen Expositionen verfügen. Unter Umständen gelten die in diesem Absatz beschriebenen Anforderungen nicht im Falle von Altgeräten.

F.2 Exposition von Arbeitnehmern während des Betriebs von MRT-Geräten im Gesundheitswesen

MRT-Geräte sind dazu ausgelegt, starke, aber sorgfältig kontrollierte Felder innerhalb des Gerätetunnels zu erzeugen, während Streufelder außerhalb der Standfläche des Geräts auf ein Minimum begrenzt sind. Somit fallen die Felder mit zunehmender Entfernung von der Geräteöffnung schnell ab. Demzufolge sind in unmittelbarer Nähe des Geräts typischerweise große räumliche Feldgradienten vorhanden, während die Felder in größerem Abstand zum Gerät wesentlich schwächer sind. Nach vorliegenden Erkenntnissen führen nur Tätigkeiten innerhalb des Gerätetunnels oder in unmittelbarer Nähe der Öffnung zu Expositionen über den Expositionsgrenzwerten.

Da bei der Exposition von Arbeitnehmern, die sich der Geräteöffnung nicht nähern müssen, die Expositionsgrenzwerte stets eingehalten werden, ist keine Bewertung notwendig. Die Bewertung der Exposition von Arbeitnehmern, die sich der Geräteöffnung nähern oder in den Tunnel eindringen müssen, ist komplex. Hierzu sind detaillierte Kenntnisse der räumlichen Verteilung der Felder innerhalb und außerhalb des MRT-Geräts notwendig. Außerdem muss bekannt sein, wie sich Arbeitnehmer während der Ausführung ihrer Tätigkeit relativ zum Gerät bewegen, was in hohem Maße von der Art der Tätigkeit abhängt. Zudem sollten die Bewertungen idealerweise auf numerischen Simulationstechniken basieren, damit die Expositionen direkt mit den Expositionsgrenzwerten verglichen werden können. Solche Bewertungen übersteigen in der Regel die Fähigkeiten der meisten Einrichtungen, die routinemäßige MR-Verfahren anwenden.

Um Informationen zur Exposition von Arbeitnehmern bereitzustellen, die infolge einer Reihe typischer Verfahren und aufgrund unterschiedlicher Arten von Geräten auftreten können, hat die Europäische Kommission eine Risikobewertung an vier Magnetresonanzeinrichtungen in verschiedenen Ländern finanziert. Im Rahmen dieses umfassenden Projekts wurden die Bewegungen und Positionen von Arbeitnehmern während verschiedener Verfahren untersucht, einschließlich Abbildung der Felder und numerischer Dosimetrie (Capstick et al. 2008). Die Ergebnisse dieser sowie früherer Studien (auf die in Stam 2008 eingegangen wird) sind zwar informativ, jedoch sind die detaillierten Schlussfolgerungen mit Vorsicht zu betrachten. Die Ergebnisse beziehen sich auf die vorherige Fassung der EMF-Richtlinie, und in ihnen werden andere Expositionskennzahlen verwendet. Des Weiteren beziehen sie sich auf eine relativ kleine Anzahl von MRT-Geräten und Expositionsszenarien. Jüngste Analysen kommen zu dem

Schluss, dass die Expositionsgrenzwerte unter bestimmten Umständen überschritten werden können (Stam 2014; McRobbie 2012).

Bei den Messdaten für wechselnde Gradientenfelder ist besondere Vorsicht geboten, da in vielen Fällen die in der aktuellen EMF-Richtlinie angegebenen Auslöseschwellen weniger streng sind als die in früheren Expositionsstudien betrachteten. Allgemein führt ein Vergleich mit den Auslöseschwellen zu einer konservativen Bewertung verglichen mit der Anwendung der Expositionsgrenzwerte. Demnach sollte Letzteren der Vorzug gegeben werden, wobei jedoch eingeräumt werden muss, dass hierfür normalerweise Fachkenntnisse in der komplexen numerischen Dosimetrie erforderlich sind.

F.2.1 Expositionen in Bezug auf Expositionsgrenzwerte

F.2.1.1 Statische Magnetfelder

Bei allen Niederfeldgeräten (mit weniger als 2 T) und in der Mehrzahl der Routineverfahren bei MRT-Geräten mit Feldstärken von über 2 T überschreitet die Exposition gegenüber statischen Magnetfeldern den Expositionsgrenzwert für sensorische Wirkungen nicht. Bei allen anderen Verfahren, für die MRT-Geräte mit bis zu 8 T eingesetzt werden, sind die aus dem statischen Magnetfeld resultierenden Expositionen mit den Expositionsgrenzwerten für gesundheitliche Wirkungen konform.

F.2.1.2 Bewegung in statischen Magnetfeldern

Bei der Bewegung in starken statischen Magnetfeldern, wie sie von MRT-Geräten erzeugt werden, werden im Körpergewebe elektrische Felder induziert, wobei diese die in der EMF-Richtlinie angegebenen Expositionsgrenzwerte überschreiten können. Erfolgen die Bewegungen in normaler Geschwindigkeit, tritt eine Überschreitung nur im Gerätetunnel und in einem geringen Abstand zur Öffnung (nach verfügbaren Informationen in der Regel nur bis zu 1 m) auf. Diese Situation ergibt sich vor allem während der Ausrichtung der Patienten, bei der der MR-Mitarbeiter unter Umständen den Kopf häufig drehen muss.

F.2.1.3 Wechselnde Gradientenfelder

Bei den meisten Routineverfahren überschreitet die Exposition gegenüber wechselnden Gradientenfeldern die Expositionsgrenzwerte weder für sensorische noch für gesundheitliche Wirkungen. Allerdings besteht für eine Minderheit von Verfahren, bei denen der Arbeitnehmer sich der Geräteöffnung nähern muss (normalerweise in einem Abstand von unter 1 m), die Möglichkeit, dass die Expositionswerte überschritten werden. Bei einer sehr geringen Anzahl von Verfahren werden die Expositionsgrenzwerte höchstwahrscheinlich überschritten, insbesondere, wenn sich der Arbeitnehmer in das Gerät hineinbeugen muss. Die tatsächliche Exposition hängt von einer Reihe von Faktoren ab, beispielsweise von der Anzahl der gleichzeitig aktiven Gradienten und den Gradienteneigenschaften, wobei die Bildaufnahme mit hoher Geschwindigkeit allgemein eine höhere Exposition zur Folge hat. Tabelle F2 enthält Beispiele für Verfahren der jeweiligen Kategorien.

F.2.1.4 Hochfrequenzfelder

Expositionsgrenzwerte für Hochfrequenzfelder werden über ein Sechs-Minuten-Intervall gemittelt. Die Expositionen liegen in der Regel unter den zulässigen Werten, wenn sich der Arbeitnehmer in das Gerät hineinbeugen muss (um z. B. einen Patienten zu überwachen), vorausgesetzt, diese Situation dauert nur wenige Minuten. Auch bei längeren Expositionen werden die Grenzwerte oft nicht überschritten.

F.3 Auf die Magnetresonanztomografie bezogene Ausnahme

Die Bedeutung, die der Magnetresonanztomografie als grundlegender Technik im Gesundheitswesen zukommt, ist allgemein anerkannt. Deshalb wird nach Artikel 10 der EMF-Richtlinie eine Ausnahme ohne Ermessensspielraum gewährt, gemäß der die Expositionsgrenzwerte unter bestimmten Umständen überschritten werden dürfen. Diese Ausnahme gilt für die Exposition von Arbeitnehmern im Zusammenhang mit der Aufstellung, Prüfung, Anwendung, Entwicklung und Wartung von Geräten für bildgebende Verfahren mittels Magnetresonanz oder damit verknüpften Forschungsarbeiten, sofern die folgenden Voraussetzungen erfüllt sind:

- (i) Die nach Artikel 4 durchgeführte Risikobewertung hat gezeigt, dass die Expositionsgrenzwerte überschritten werden.
- (ii) Nach dem Stand der Technik sind alle technischen und/oder organisatorischen Maßnahmen durchgeführt worden.
- (iii) Die Umstände rechtfertigen hinreichend eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte.
- (iv) Die spezifischen Merkmale des Arbeitsplatzes, der Arbeitsmittel oder der Arbeitsmethoden wurden berücksichtigt.
- (v) Der Arbeitgeber weist nach, dass die Arbeitnehmer weiterhin vor gesundheitsschädlichen Wirkungen und Sicherheitsrisiken geschützt sind, unter anderem, indem er sicherstellt, dass die Anleitungen für die sichere Verwendung, die der Hersteller im Einklang mit der Medizinprodukte-Richtlinie (93/42/EWG) bereitgestellt hat, eingehalten werden.

Tabelle F2 Risiko einer Überschreitung der entsprechenden Expositionsgrenzwerte bei der Exposition gegenüber Gradientenfeldern während unterschiedlicher MRT-Untersuchungen

Risiko einer Überschreitung des Expositionsgrenzwerts	Verfahren
Hoch	Platzierung des Führungsdrahts (bei der Echtzeit-MRT) Interventionelle Techniken, z. B. bei der interventionellen kardiovaskulären MRT Funktionelle MRT (mit physikalischer Reizung des Patienten im Gerät) Ausrichtung der EEG-Elektroden (Forschungstätigkeit)
Mittel	Allgemeine Anästhesie (genaue Überwachung des Patientenzustands während der Bildaufnahme) Herzstresstest (genaue Überwachung des Patientenzustands während der Bildaufnahme) Reinigung/Infektionskontrolle innerhalb des Geräts (keine Bildaufnahme) Trösten von Kindern während der Bildaufnahme (die tröstende Person befindet sich zwar außerhalb des Geräts, jedoch in einem Abstand von weniger als 1 m zur Öffnung)
Niedrig	Routinemäßige Bildaufnahme (kein Personal im Raum anwesend) Biopsie (Patient nicht im Gerät/keine Bildaufnahme) Manuelle Kontrastmittelgabe (keine Bildaufnahme)

Es ist zu beachten, dass die Ausnahme nur in Bezug auf Expositionsgrenzwerte gilt, die dazu dienen, Menschen vor den direkten Wirkungen elektromagnetischer Felder zu schützen. Im Zusammenhang mit dem Betrieb von MR-Systemen können sich weitere Gefahren ergeben, die Sicherheitsrisiken mit möglicherweise schwerwiegendem

Ausgang darstellen können. Die Betreiber solcher Systeme sollten sicherstellen, dass diese Gefahren entsprechend beherrscht werden. Diese weiteren Gefahren können u. a. Störungen bei folgenden Geräten verursachen:

- aktive oder passive implantierte medizinische Geräte;
- am Körper getragene medizinische Geräte;
- elektronische medizinische Geräte;
- kosmetische oder medizinische Implantate.

Weitere Gefahren sind beispielsweise ebenfalls:

- Projektilwirkung infolge der Bewegung ferromagnetischer Materialien im starken Magnetfeld;
- Lärm;
- Flüssighelium.

F.4 Erfüllung der Voraussetzungen für die Ausnahme

In diesem Abschnitt erhält der Arbeitgeber Hilfestellung bei der Bewertung, ob er die Voraussetzungen für die Ausnahme erfüllt.

F.4.1 Risikobewertung zur Bestimmung, ob Expositionsgrenzwerte überschritten werden

Spezielle Hinweise zur Risikobewertung im Zusammenhang mit der EMF-Richtlinie sind in Kapitel 5 zu finden. Geräte für bildgebende Verfahren mittels Magnetresonanz nutzen starke Felder zur Erzeugung von Bildern; deshalb besteht häufig die Möglichkeit, dass die Expositionsgrenzwerte überschritten werden. Im Allgemeinen überschreiten die elektrischen Feldstärken die Grenzwerte nur innerhalb des Geräts oder in unmittelbarer Nähe der Geräteöffnung (siehe Abschnitt F1). Bei der Mehrzahl der MRT-Verfahren (schätzungsweise rund 97 %) muss kein Personal während der Bildaufnahme in diesen Bereichen anwesend sein.

Da die Expositionsbewertung höchstwahrscheinlich die Fähigkeiten der meisten Einrichtungen, die routinemäßige MRT-Verfahren anwenden, übersteigt, ist es in der Regel akzeptabel, sich auf veröffentlichte Daten sowie die von den MRT-Systemen selbst ausgegebenen Informationen über die voraussichtliche Exposition zu verlassen.

Der grundlegende Aspekt bei der Risikobewertung ist deshalb, festzustellen, ob Arbeitnehmer in den Bereichen anwesend sein müssen, in denen die Expositionsgrenzwerte überschritten werden können (normalerweise innerhalb eines Abstands von 1 m zur Geräteöffnung). Bei Routinetätigkeiten und der routinemäßigen Versorgung des Patienten müssen sich die MR-Mitarbeiter zwar in diesem Bereich aufhalten, jedoch normalerweise nicht, während die Bildaufnahme aktiv ist. Wenn sich Personal der Geräteöffnung mehr als 1 m nähern muss, dürften langsame Bewegungen ausreichen, damit die durch die Bewegung induzierten elektrischen Felder unterhalb des entsprechenden Expositionsgrenzwerts bleiben. Tabelle F2 sowie veröffentlichte Expositionsdaten (siehe Abschnitt F2) können den Arbeitgeber bei der Entscheidung unterstützen, welche Verfahren (sofern vorhanden) Expositionen infolge der wechselnden Gradientenfelder verursachen können, die den Expositionsgrenzwert überschreiten.

Wenn möglich, sollte das Personal nicht in den Gerätetunnel eindringen (siehe Abschnitt F6.4). Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass, sollten Arbeitnehmer für bestimmte Tätigkeiten (z. B. zur Infektionskontrolle) in den Gerätetunnel eindringen müssen, dies dann geschieht, wenn die wechselnden Gradientenfelder und die Hochfrequenzfelder abgeschaltet sind. Somit muss lediglich die Exposition gegenüber dem statischen

Magnetfeld berücksichtigt werden. Wie bereits in Abschnitt F2 erwähnt, wird bei Geräten mit magnetischen Flussdichten von bis zu 8 T der Expositionswert für gesundheitliche Wirkungen nicht überschritten. Sofern Maßnahmen zur Unterrichtung der Arbeitnehmer und zum Ausschluss von Sicherheitsrisiken ergriffen werden, kann eine vorübergehende Überschreitung des Expositionsgrenzwerts für sensorische Wirkungen akzeptiert werden.

F.4.2 Anwendung technischer und organisatorischer Maßnahmen nach dem Stand der Technik

F.4.2.1 Technische Maßnahmen

Technische Maßnahmen zur Beschränkung der Felder innerhalb des Gerätetunnels hängen von der Auslegung und der Konstruktion des MRT-Geräts sowie von den Betriebsmodi zur Begrenzung der abgegebenen Leistung ab. Von den Herstellern werden die Geräte ständig weiterentwickelt und verbessert, wozu auch Maßnahmen zur Beschränkung der Felder zählen, um die Anforderungen der Medizingeräte-Richtlinie zu erfüllen. Aufgrund dieser Konformitätsanforderungen entsprechen die in die MRT-Geräte zum Zeitpunkt der Herstellung und Installation integrierten technischen Maßnahmen dem Stand der Technik. Eine Veränderung von MRT-Geräten nach ihrer Installation ist technisch schwierig und erfordert normalerweise eine Neubewertung dahin gehend, ob das Gerät die Anforderungen der Medizinprodukte-Richtlinie erfüllt. Eine solche Neubewertung dürfte in der Regel die Fähigkeiten der diese Geräte betreibenden Einrichtungen übersteigen.

Prinzipiell wäre es möglich, die Betriebsparameter (wie Gradienteneigenschaften oder Stärke des Hochfrequenzfeldes) so zu wählen, dass die Exposition reduziert wird, wenn sich Personal im Bereich des Tunnels oder in der Nähe der Geräteöffnung aufhalten muss. In der Praxis hängt die Wahl der Betriebsparameter des Geräts in erster Linie von den klinischen Erfordernissen ab, und Verfahren, bei denen Personal sich in den Gerätetunnel hineinbeugen muss (z. B. bei interventionellen Verfahren), erfordern häufig Bildaufnahmen in schneller Sequenz, die eine hohe Exposition verursachen. Deshalb dürfte der Spielraum gering sein, Expositionen durch Einstellung der Betriebsparameter zu verringern. Besteht jedoch Spielraum, sollten Radiologieassistenten eine langsamere Bildaufnahme und schwächere Hochfrequenzfelder wählen, wenn Personal sich dem Gerät nähern muss. Ungeachtet dessen, ist für die Wahl der geeigneten Geräteeinstellung nach wie vor das klinische Urteil entscheidend.

F.4.2.2 Organisatorische Maßnahmen

Arbeitgeber, die MRT-Geräte betreiben, sollten den Empfehlungen in den unten stehenden Abschnitten F5 und F6 folgen.

F.4.3 Umstände, die eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte hinreichend rechtfertigen

Die Umstände, die eine Überschreitung des Expositionsgrenzwerts hinreichend rechtfertigen, hängen von der jeweiligen Anwendung ab. Zu Diagnose- und Behandlungszwecken ist für die Entscheidung, welches Verfahren anzuwenden ist, stets das klinische Urteil ausschlaggebend. Wenn bestimmte Verfahren es erfordern, dass Arbeitnehmer in dem die Geräteöffnung umgebenden Bereich (der im Plan im MRT-Raum gekennzeichnet ist, siehe Abschnitt F5.3 unten) anwesend sind, sollte der Arbeitgeber die entsprechenden medizinischen Fachkräfte konsultieren, um mit diesen gemeinsam zu beraten, ob es andere akzeptable Lösungen gibt, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen – wobei die klinischen Erfordernisse und die Sicherheit des Patienten zu berücksichtigen sind.

Auch die Hersteller sollten die Umstände, die eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte hinreichend rechtfertigen, im Hinblick auf die Arbeitsorganisation erwägen; vor allem müssen sie bedenken, dass sichergestellt sein muss, dass die vom Gerät erzeugten Bildaufnahmen eine Qualität haben, die für klinische Zwecke

angemessen ist. Forschungsinstitute sollten einem analogen Prozess folgen wie dem in der direkten Patientenversorgung, wobei hier die Qualität der erhaltenen Daten und die Sicherheit der Probanden wesentliche Aspekte sind.

F.4.4 Merkmale des Arbeitsplatzes, der Arbeitsmittel oder der Arbeitsmethoden

Arbeitgeber sollten die Informationen im Abschnitt F1 oben beachten und den Empfehlungen in den unten stehenden Abschnitten F5 und F6 folgen.

F.4.5 Schutz der Arbeitnehmer und sichere Verwendung

Wie in Abschnitt F1 erläutert, verfügen Magnetresonananzgeräte, die die Norm EN 60601-2-33 erfüllen, über integrierte Einrichtungen zum Schutz vor übermäßigen Expositionen. Dennoch besteht bei einer Überschreitung der Expositionsgrenzwerte das Risiko, dass Arbeitnehmer, die gegenüber den Feldern sehr empfindlich sind, Wirkungen empfinden können. Aus diesem Grund ist es wichtig, Arbeitnehmer, die den Kontrollbereich (siehe Abschnitt F5.1) betreten müssen, über die möglichen Wirkungen der Exposition zu unterrichten, damit festgestellt werden kann, ob diese Wirkungen auftreten, und entsprechende Maßnahmen zur Begrenzung der Exposition ergriffen werden können. Alle Vorkommnisse dieser Art sollten dem Vorgesetzten oder der zuständigen Person gemeldet werden, damit entsprechende Maßnahmen getroffen werden können.

MRT-Geräte sind komplexe und hochtechnische Komponenten von medizinischen oder Forschungssystemen, und das Bedienpersonal wird intensiv geschult. Die Geräte sind mit zahlreichen Sicherheitssystemen ausgestattet, darunter auch Einrichtungen zum Schutz vor übermäßigen Expositionen und automatische Warnsysteme. Falls vom Arbeitgeber Systeme eingerichtet wurden, die sicherstellen, dass die Bediener das Gerät gemäß den Anweisungen des Herstellers verwenden und die automatischen Warnsysteme beachten, sollte das Gerät für Patienten und Arbeitnehmer sicher sein, wie dies in der Medizinprodukte-Richtlinie (93/42/EWG) verlangt wird.

F.4.6 Schwangere Arbeitnehmerinnen

Wenn eine Arbeitnehmerin ihre Schwangerschaft meldet, sollte der Arbeitgeber die bestehende Risikobewertung überprüfen, um festzustellen, ob sie zweckdienlich ist. Falls Änderungen notwendig sind, sollte eine spezielle Risikobewertung durchgeführt werden. Weitere Informationen sind in Kapitel 5 und Anhang E dieses Leitfadens enthalten.

F.5 Strukturierung einer MRT-Betriebsstätte

Einrichtungen, die MRT-Geräte betreiben, können die Exposition der Arbeitnehmer auf ein Mindestmaß reduzieren, indem sie die MRT-Räumlichkeiten entsprechend strukturieren und sie vor allem je nach Stärke der auftretenden Felder in unterschiedliche Bereiche unterteilen. Dadurch lässt sich der Zugang zu Bereichen, in denen ein höheres Risiko besteht, dass die Expositionsgrenzwerte überschritten werden, leichter beschränken. Im Allgemeinen ist in den meisten MRT-Betriebsstätten aufgrund anderer Gefahren (siehe Aufzählungsliste in Abschnitt F3) bereits ein Zugangsbeschränkungssystem in Kraft. Der im Folgenden beschriebene Ansatz beruht auf bereits an anderer Stelle veröffentlichten Vorschlägen für bewährte Verfahren und entwickelt bestehende Ansätze im Zusammenhang mit der EMF-Richtlinie weiter.

F.5.1 Kontrollbereich

In der Norm EN 60601-2-33 wird das Konzept des Kontrollbereichs (Controlled Access Area) definiert. Die Norm legt fest, dass ein solcher Kontrollbereich für jedes MRT-Gerät

erforderlich ist, das außerhalb seines fest installierten Gehäuses ein Streufeld von über 0,5 mT erzeugt und/oder das die in der Norm EN 60601-1-2 angegebenen Werte für die elektromagnetische Störbeeinflussung nicht einhält. Somit ist die Kennzeichnung des Kontrollbereichs im Gesundheitswesen bereits Standardpraxis.

Innerhalb des Kontrollbereichs besteht die Gefahr der Störbeeinflussung von aktiven implantierten medizinischen Geräten und anderen medizinischen Geräten. Außerdem bestehen Risiken infolge der Anziehung ferromagnetischer Materialien oder indem Drehmomente auf diese Materialien wirken.

Der Zugang zu diesem Bereich muss durch eine geeignete Kennzeichnung beschränkt werden, idealerweise mittels einer Tür mit kontrolliertem Zugang. Es sind geeignete organisatorische Vorkehrungen erforderlich, um den Zugang zu diesem Bereich zu kontrollieren (siehe Abschnitt F6 unten).

F.5.2 MRT-Raum

Der Zutritt zum MRT-Raum sollte auf Arbeitnehmer beschränkt sein, die aufgrund ihrer Tätigkeit dort anwesend sein müssen. Die Arbeitnehmer, die den Raum betreten müssen, sollten nicht länger im Raum bleiben, als dies für die Ausführung ihrer Aufgaben notwendig ist.

Der räumliche Magnetfeldgradient ist in dem die Geräteöffnung unmittelbar umgebenden Bereich am größten. Die wechselnden Gradientenfelder in diesem Bereich können ebenfalls ausreichend stark sein, dass die Gefahr einer Überschreitung der Expositionsgrenzwerte besteht, wenn das MRT-Gerät aktiv ist. Deshalb sollte dieser Bereich auf einem Plan gekennzeichnet sein, der im MRT-Raum ausgehängt ist. Der gekennzeichnete Bereich wird auf der Grundlage des restriktivsten Werts des räumlichen Gradienten und der wechselnden Gradientenfelder festgelegt, wobei der Hersteller normalerweise Angaben zu diesem Bereich macht. Sind keine entsprechenden Informationen verfügbar (z. B. bei einem alten Gerät), sollte standardmäßig ein Bereich innerhalb von 1 m Abstand zur Geräteöffnung (gemessen von der Mittelachse) festgelegt werden, was im Normalfall ausreichen dürfte. Der ausgehängte Plan soll dazu dienen, Arbeitnehmer auf die größeren Risiken bei Tätigkeiten in diesem Bereich hinzuweisen. Die Arbeitnehmer sollten den gekennzeichneten Bereich nur dann betreten, wenn das zur Erledigung ihrer Aufgaben erforderlich ist, und sollten in diesem Bereich nicht länger als notwendig verbleiben. Arbeitnehmer, die den gekennzeichneten Bereich betreten müssen, sollten darauf achten, dass sie sich entsprechend langsam bewegen, um beeinträchtigende Wirkungen zu vermeiden.

F.5.3 Auslegung des MRT-Raums

Der MRT-Raum ist so auszulegen, dass das Personal möglichst nicht in der Nähe des MRT-Geräts arbeiten muss. Deshalb sollten sich Anästhesie- und andere bewegliche Vorrichtungen so weit wie möglich vom MRT-Gerät entfernt befinden, sofern das guter medizinischer Praxis entspricht. Gleichermaßen sollte die Medikamenten- und Kontrastmittelgabe möglichst automatisch erfolgen; wenngleich einzuräumen ist, dass dies nicht immer eine sichere Vorgehensweise ist. Hier ist das klinische Urteil entscheidend. Bei jungen oder sehr kranken Patienten wird die manuelle Infusion häufig als eine sicherere Alternative erachtet. Auch hier ist stets das klinische Urteil entscheidend.

F.6 Arbeitsorganisation

F.6.1 Kontrollbereich

Für den Kontrollbereich sollten geeignete organisatorische Vorkehrungen getroffen werden, die dokumentiert werden sollten. Die Arbeitstätigkeiten in diesem Bereich sollten von einem Mitarbeiter in einer verantwortlichen Position, zum Beispiel dem an dem jeweiligen Tag leitenden Radiologieassistenten, direkt überwacht werden.

Medizinisches Personal und Besucher im Kontrollbereich sollen von einem MR-Mitarbeiter kontinuierlich überwacht werden.

Ein wesentliches Element der Vorkehrungen ist eine Durchleuchtung, um gefährdete Personen zu identifizieren, die aktive oder passive Implantate tragen, oder um andere Risikofaktoren zu ermitteln wie Körperpiercings oder Tätowierungen mit hohem Eisenanteil. Für Patienten und Pflegepersonal gelten dieselben Durchleuchtungskriterien.

Außerdem müssen Vorkehrungen getroffen werden, um den Zugang außerhalb der normalen Arbeitszeiten zu kontrollieren (z. B. von Reinigungs- oder Sicherheitspersonal, Feuerwehrleuten und Gebäudeinstandhaltungspersonal).

Des Weiteren sollten auch in den Kontrollbereich mitgebrachte Gegenstände durchleuchtet werden, um sicherzustellen, dass ferromagnetische Gegenstände als MR-sicher oder als bedingt MR-sicher eingestuft werden. Hierzu sollten lokale Verfahren eingerichtet werden.

F.6.2 Unterweisung des Personals

Arbeitnehmer, die im Kontrollbereich arbeiten, sollten eine entsprechende Unterweisung im Hinblick auf MR-Sicherheit erhalten. Diese Unterweisung sollte Folgendes umfassen:

- Kenntnis der möglichen Wirkungen, die durch Bewegungen in einem starken statischen Magnetfeld hervorgerufen werden;
- Kenntnis der Wirkungen starker wechselnder Gradientenfelder;
- Kenntnis der Wirkungen von Hochfrequenzfeldern;
- Kenntnis der Projektilwirkung aufgrund der Anziehung ferromagnetischer Materialien sowie der Risiken durch die auf diese Materialien wirkenden Drehmomente;
- Kenntnis des Risikos der Störbeeinflussung von aktiven implantierten medizinischen Geräten;
- Kenntnis des Risikos der Störbeeinflussung von elektronischen medizinischen Geräten;
- Wichtigkeit der Zugangsbeschränkungen und der Durchleuchtung von Personen und Gegenständen, die Zugang zum Kontrollbereich erhalten;
- Bedeutung von langsamen Bewegungen im Umkreis des MRT-Geräts oder innerhalb des Gerätetunnels;
- Kenntnis der räumlichen Verteilung der Felder im Umkreis des MRT-Geräts;
- Kenntnis weiterer Gefahren, darunter Lärm und kryogene Gase;
- Evakuierungsverfahren im Falle eines Quenches des supraleitfähigen Magneten;
- Kenntnis der Notfallverfahren.

Die Unterweisung sollte auf die jeweilige MRT-Betriebsstätte zugeschnitten sein. Sie sollte deshalb im Haus von einer Person durchgeführt werden, die über entsprechende Kenntnisse und Erfahrungen verfügt. Es ist zu erwarten, dass weitere

Leitlinien zu erforderlichen Unterweisungen von den betreffenden europäischen Berufsgenossenschaften erstellt werden.

Wenn andere Personen wie Reinigungs- oder Sicherheitspersonal, Feuerwehrleute und Gebäudeinstandhaltungspersonal den Kontrollbereich betreten müssen, sollten sie je nach den Bereichen, die sie betreten müssen, ebenfalls entsprechend unterwiesen werden, wobei diese Unterweisung nicht so ausführlich sein muss wie für MR-Personal.

F.6.3 MRT-Raum

Arbeitnehmer, die den auf dem Plan gekennzeichneten Bereich im Umkreis der Geräteöffnung betreten müssen, müssen darauf achten, dass sie sich entsprechend langsam bewegen, damit eventuelle vorübergehende Wirkungen nicht allzu beeinträchtigend sind. Von der ICNIRP wurden weitere Leitlinien zur Einschränkung der Bewegung in statischen Magnetfeldern veröffentlicht (ICNIRP 2014). Weitere Informationen zu diesem Thema enthält Abschnitt D4 des vorliegenden Leitfadens. Die Arbeitnehmer müssen die von wechselnden Gradientenfeldern ausgehenden Wirkungen kennen und müssen darauf achten, dass sie den auf dem Plan gekennzeichneten Bereich nicht betreten, es sei denn, dies ist aufgrund des MRT-Verfahrens erforderlich. Außerdem müssen sie wissen, dass sie sich nicht länger als notwendig in diesem Bereich aufhalten sollten.

Wenn Arbeitnehmer während der aktiven Bildaufnahme in der Nähe oder innerhalb des Tunnels anwesend sein müssen, können sie eine Stimulation der peripheren Nerven empfinden. Moderne MRT-Geräte sind so ausgelegt, dass eine Stimulation der peripheren Nerven bei den meisten Menschen begrenzt ist. Jedoch können sehr empfindliche Menschen immer noch einige Wirkungen verspüren und sollten die Symptome kennen, damit Maßnahmen zur Minderung dieser Wirkungen ergriffen werden können. Falls Arbeitnehmer Wirkungen infolge der Exposition erfahren, sollten diese der Geschäftsführung der Einrichtung gemeldet werden, damit diese die Risikobewertung und die Präventionsmaßnahmen gegebenenfalls aktualisiert.

Direkte Wirkungen auf Arbeitnehmer können unter Umständen ein Sicherheitsrisiko für andere Personen darstellen. Beispielsweise können Schwindel oder Sehstörungen, die von schnellen Bewegungen des Arbeitnehmers im statischen Feld verursacht werden, dazu führen, dass der Arbeitnehmer den Patienten möglicherweise nicht angemessen versorgen kann.

F.6.4 Eindringen in das MRT-Gerät

Das Personal sollte nicht angewiesen werden, in den Gerätetunnel einzudringen, es sei denn, dass dies absolut notwendig ist. Das Eindringen in den Tunnel, um beispielsweise das Gerät zu reinigen oder einen Patienten zu beruhigen, sollte auf das notwendige Mindestmaß beschränkt sein, um die Aufgabe zu erledigen. Die Arbeitnehmer sollten erwägen, ob die entsprechende Vorgehensweise notwendig ist oder ob dieselbe Zielsetzung ohne Eindringen in den Tunnel erreicht werden kann. Arbeitnehmer, die mit den Wirkungen infolge der Bewegung in starken statischen Magnetfeldern nicht vertraut sind, können einem erhöhten Risiko ausgesetzt sein.

In vielen Fällen sind einfache Methoden wie eine Fernüberwachung oder -überprüfung (z. B. mithilfe eines Spiegels) für bestimmte Tätigkeiten möglich, um beispielsweise den Patienten während der Bildaufnahme zu überwachen oder den Tunnel zu inspizieren. Außerdem können sich für bestimmte Reinigungsverfahren langstielige Werkzeuge eignen. Durch eine vernünftige Anwendung dieser Methoden lässt sich das Eindringen von Arbeitnehmern in das Gerät auf ein Mindestmaß reduzieren.

Sollten Arbeitnehmer in das MRT-Gerät eindringen müssen, dann sind die Hochfrequenzfelder und die wechselnden Gradientenfelder abzuschalten, wenn diese nicht unbedingt aufrechterhalten werden müssen. Falls wechselnde Gradientenfelder erforderlich sind, sollten sie, wenn möglich, auf einen einzigen Gradienten beschränkt

und die Geschwindigkeit der Bildaufnahme herabgesetzt werden, um die Stärke der Expositionen zu begrenzen. Desgleichen sollten Hochfrequenzfelder, wenn sie erforderlich sind, auf die Mindeststärke begrenzt werden, die zur Erzielung des gewünschten Ergebnisses notwendig ist.

F.7 MRT-Systeme in der Forschung

In der Forschung handelt es sich im Allgemeinen um weniger routinemäßige Tätigkeiten, bei denen die Wahrscheinlichkeit höher ist, dass sich ein Arbeitnehmer zur Erledigung seiner Aufgaben in der Nähe des MRT-Geräts befinden muss. Dennoch sollte es in der Regel möglich sein, den zuvor für die medizinische Diagnostik und Behandlung dargelegten allgemeinen Grundsätzen zu folgen und sie gegebenenfalls an die speziellen Anforderungen in der Forschung anzupassen. Ausführliche Leitlinien zum sicheren Betrieb von MRT-Systemen in der Forschung wurden von der International Society of Magnetic Resonance in Medicine entwickelt (Calamante et al. 2014).

ANHANG G

VORGABEN SONSTIGER EUROPÄISCHER REGELWERKE

G.1 Rechtsgrundlage für europäische Rechtsvorschriften

Europäisches Recht beruht auf drei grundlegenden Verträgen:

- Vertrag über die Europäische Union (EUV);
- Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV);
- Vertrag zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft.

Der AEUV (zuvor Vertrag von Rom) liefert die Rechtsgrundlage für die im Folgenden beschriebenen Richtlinien.

G.2 Arbeitsschutzrichtlinien

Im Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union ist festgeschrieben, dass die Verbesserung der Arbeitsumwelt zum Schutz der Gesundheit und der Sicherheit der Arbeitnehmer gefördert werden soll. Um dieses Ziel zu unterstützen, erlaubt der Vertrag den Erlass von Richtlinien zur Festlegung von Mindestvorschriften.

G.2.1 Rahmenrichtlinie

1989 wurde die Rahmenrichtlinie (89/391/EWG) als übergeordnete Richtlinie in diesem Bereich eingeführt. Die Rahmenrichtlinie enthält allgemeine Grundsätze zur Gefahrenverhütung und zum Schutz von Arbeitnehmern, um Arbeitsunfälle und berufsbedingte Erkrankungen zu verhindern. Nach dieser Richtlinie haben Arbeitgeber folgende Pflichten:

- Bewertung von Risiken (siehe Kapitel 5 dieses Leitfadens);
- Gefahrenverhütung (siehe Kapitel 9 dieses Leitfadens);
- Vorkehrungen für Erste Hilfe, Brandbekämpfung und Evakuierung der Arbeitnehmer sowie Maßnahmen im Falle ernster und unmittelbarer Gefahren;
- Führen einer Liste der Arbeitsunfälle;
- Unterrichtung, Beteiligung und Unterweisung der Arbeitnehmer;
- Gesundheitsüberwachung gemäß nationalen Rechtsvorschriften und Praktiken;
- Schutz besonders gefährdeter Risikogruppen.

Die Rahmenrichtlinie enthält ebenfalls folgende Pflichten für Arbeitnehmer:

- ordnungsgemäße Benutzung von Maschinen, Geräten, Werkzeugen, Stoffen und der persönlichen Schutzausrüstung;
- Meldung von Situationen, die eine ernste und unmittelbare Gefahr darstellen, sowie jedem an den Schutzsystemen festgestellten Defekt an den Arbeitgeber;

- Zusammenarbeit mit dem Arbeitgeber bei der Umsetzung von Maßnahmen zum Schutz der Sicherheit und Gesundheit.

Die Rahmenrichtlinie sieht den Erlass von Einzelrichtlinien vor, die im Wesentlichen weitere Einzelheiten darüber enthalten, wie die Ziele der Rahmenrichtlinie in spezifischen Situationen erfüllt werden können. Die EMF-Richtlinie ist eine der zahlreichen Einzelrichtlinien, die zur allgemeinen Ergänzung der Anforderungen der Rahmenrichtlinie erlassen wurden. Einige dieser weiteren Richtlinien können unter Umständen für die Arbeit mit elektromagnetischen Feldern relevant sein; auf diese wird im Folgenden kurz eingegangen. Um ausführliche Informationen zu den genannten Richtlinien zu erhalten, konsultieren Sie bitte die betreffenden Richtlinien sowie die nationalen Rechtsvorschriften zu deren Umsetzung und die gegebenenfalls verfügbaren offiziellen Leitfäden.

G.2.2 Arbeitsmittelrichtlinie

Die Arbeitsmittelrichtlinie (2009/104/EG) verpflichtet Arbeitgeber sicherzustellen, dass die den Arbeitnehmern bereitgestellten Arbeitsmittel sicher sind und sich für den Arbeitsplatz eignen, an dem sie verwendet werden. Außerdem müssen die Arbeitgeber dafür sorgen, dass die Arbeitsmittel entsprechend gewartet werden, damit sie während der gesamten Zeit der Benutzung den Anforderungen der Richtlinie entsprechen. Der Arbeitgeber muss Überprüfungen und/oder Erprobungen durchführen, um die korrekte Montage und das korrekte Funktionieren der Arbeitsmittel sicherzustellen, wobei die Ergebnisse der Überprüfungen schriftlich festzuhalten sind.

Ist die Benutzung eines Arbeitsmittels mit einer möglichen spezifischen Gefährdung verbunden, muss der Arbeitgeber dafür sorgen, dass die Benutzung des Arbeitsmittels den hierzu beauftragten Personen vorbehalten bleibt, und sicherstellen, dass Instandsetzungs-, Umbau-, Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten nur von eigens hierzu befugten Arbeitnehmern durchgeführt werden.

Die Arbeitgeber sind verpflichtet, die Arbeitnehmer über Einsatzbedingungen der Arbeitsmittel, absehbare Störfälle und die sie betreffenden Gefährdungen in Kenntnis zu setzen. Außerdem müssen die Arbeitnehmer eine angemessene Unterweisung erhalten.

G.2.3 Arbeitsstättenrichtlinie

Die Arbeitsstättenrichtlinie (89/654/EWG) verpflichtet die Arbeitgeber, eine Arbeitsstätte bereitzustellen, die sicher ist sowie regelmäßig gereinigt und gewartet wird.

G.2.4 Richtlinie über die Sicherheits- und/oder Gesundheitsschutzkennzeichnung

Nach der Richtlinie über die Sicherheits- und/oder Gesundheitsschutzkennzeichnung (92/58/EWG) haben die Arbeitgeber die Pflicht, eine Sicherheits- und/oder Gesundheitsschutzkennzeichnung vorzusehen, wenn die Risiken nicht vermieden oder begrenzt werden können. Arbeitnehmer und ihre Vertreter sind über die Bedeutung der Kennzeichnung sowie über die zu ergreifenden Maßnahmen bei Anzeige der Kennzeichnung zu informieren.

Die Mindestvorschriften für die Sicherheits- oder Gesundheitsschutzkennzeichnungen werden in den Anhängen dieser Richtlinie ausführlich erläutert.

G.2.5 Richtlinie über den Schutz schwangerer Arbeitnehmerinnen

Die Richtlinie über den Schutz schwangerer Arbeitnehmerinnen (92/85/EWG) verpflichtet die Arbeitgeber zur Beurteilung der Risiken für die Sicherheit und Gesundheit der durch diese Richtlinie abgedeckten Arbeitnehmerinnen, die sich durch die Exposition gegenüber chemischen, physikalischen und biologischen Agenzien, einschließlich nichtionisierender

Strahlungen, ergeben können. Die schwangeren Arbeitnehmerinnen, Wöchnerinnen und stillenden Arbeitnehmerinnen sowie diejenigen Arbeitnehmerinnen, die sich in einer dieser Situationen befinden könnten, müssen über die Ergebnisse der Beurteilung und die zu ergreifenden Maßnahmen unterrichtet werden. Wurde eine Gefährdung festgestellt, muss der Arbeitgeber durch Umgestaltung der Arbeitsbedingungen, durch einen Arbeitsplatzwechsel oder eine Beurlaubung der Arbeitnehmerin ausschließen, dass sie dieser Gefährdung ausgesetzt ist.

Außerdem enthält die Richtlinie Bestimmungen, die schwangere Arbeitnehmerinnen von der Pflicht zu Nacharbeit entbindet, wenn dies durch ein ärztliches Attest bescheinigt wird. Des Weiteren haben schwangere Arbeitnehmerinnen Anspruch auf Mutterschaftsurlaub, und ihnen darf aufgrund der Schwangerschaft oder des Mutterschaftsurlaubs nicht gekündigt werden.

G.2.6 Jugendarbeitsschutz-Richtlinie

Die Jugendarbeitsschutz-Richtlinie (94/33/EG) schreibt ein Schutzsystem für alle Jugendlichen unter 18 Jahren vor. Von bestimmten Ausnahmen abgesehen, sind die Mitgliedstaaten verpflichtet, die Arbeit von Kindern, die der Vollzeitschulpflicht unterliegen (und in jedem Fall von Kindern unter 15 Jahren), zu verbieten.

Arbeitgeber müssen eine Risikobewertung durchführen unter besonderer Berücksichtigung der Gefahren, die aus der mangelnden Erfahrung, dem fehlenden Bewusstsein für tatsächliche oder potenzielle Gefahren und der noch nicht abgeschlossenen Entwicklung des jungen Menschen herrühren. Infolgedessen müssen die Arbeitgeber Maßnahmen für den Schutz der Sicherheit und Gesundheit junger Menschen vorsehen. Die Bewertung muss vor dem Beginn der Beschäftigung eines jungen Menschen oder bei einer wesentlichen Veränderung der Arbeitsbedingungen erfolgen. Die jungen Arbeitnehmer und ihre gesetzlichen Vertreter müssen über das Ergebnis der Risikobewertung und die getroffenen Maßnahmen unterrichtet werden.

G.2.7 Richtlinie über die Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen

Nach der Richtlinie über die Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen (89/656/EWG) müssen Arbeitgeber sicherstellen, dass persönliche Schutzausrüstungen verwendet werden, wenn die Risiken nicht durch technische Schutzmittel oder durch organisatorische Maßnahmen vermieden oder ausreichend begrenzt werden können. Jede zur Verfügung gestellte persönliche Schutzausrüstung muss hinsichtlich ihrer Konzeption und Konstruktion den einschlägigen EU-Vorschriften entsprechen und muss:

- Schutz gegenüber den zu verhütenden Risiken bieten, ohne selbst ein größeres Risiko mit sich zu bringen;
- für die am Arbeitsplatz gegebenen Bedingungen geeignet sein;
- den ergonomischen Anforderungen und den gesundheitlichen Erfordernissen des Arbeitnehmers Rechnung tragen;
- dem Träger nach erforderlicher Anpassung passen.

Der Arbeitgeber hat den Arbeitnehmern persönliche Schutzausrüstungen kostenlos zur Verfügung zu stellen, und er muss ein gutes Funktionieren und einwandfreie hygienische Bedingungen der persönlichen Schutzausrüstungen gewährleisten. Vom Arbeitgeber ist eine Bewertung durchzuführen, um sicherzustellen, dass die persönliche Schutzausrüstung geeignet und bei gegebenenfalls gleichzeitigem Einsatz mit anderen persönlichen Schutzausrüstungen auf diese abgestimmt ist.

Arbeitnehmer müssen bei jeder an sie ausgegebenen persönlichen Schutzausrüstung hinsichtlich deren Benutzung entsprechend unterwiesen werden.

G.3 Produktrichtlinien

Nach dem AEUV sind mengenmäßige Handelsbeschränkungen zwischen den Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder Maßnahmen mit ähnlicher Wirkung verboten. Aus der Rechtsprechung geht hervor, dass Beschränkungen des freien Warenverkehrs innerhalb der Europäischen Union nur gerechtfertigt sein können, wenn die Produkte den *grundlegenden Anforderungen* nicht entsprechen. Aus diesem Grund mussten die *grundlegenden Anforderungen* definiert werden können, und es war notwendig, Konformitätsbewertungen zu standardisieren.

Diese Fragen wurden ursprünglich durch die Übernahme einer *neuen Konzeption* für Produktvorschriften geregelt, die sich auf die folgenden vier Grundprinzipien stützt:

- Die Harmonisierung der Rechtsvorschriften beschränkt sich auf die grundlegenden Anforderungen, denen die in der EU in Verkehr gebrachten Erzeugnisse genügen müssen, damit sie für den freien Warenverkehr innerhalb der EU zugelassen werden können.
- Die technischen Spezifikationen, die für Produkte zur Erfüllung der grundlegenden Anforderungen erforderlich sind, sind in harmonisierten Normen festzulegen.
- Für Produkte, die unter Anwendung harmonisierter Normen hergestellt wurden, besteht eine Konformitätsvermutung in Bezug auf die entsprechenden grundlegenden Anforderungen.
- Die Anwendung harmonisierter oder anderer Normen bleibt freiwillig; Hersteller können stets andere technische Spezifikationen anwenden, um die Anforderungen zu erfüllen, jedoch liegt dann die Beweislast für die Übereinstimmung seiner Produkte mit den grundlegenden Anforderungen beim Hersteller.

Die neue Konzeption wurde inzwischen durch den neuen Rechtsrahmen ersetzt, in dem die Aspekte des früheren Systems überarbeitet und verschärft wurden.

Dieses für Produktvorschriften angewandte System ermöglicht Regelungen für breit angelegte Gruppen von Produkten, für die gemeinsame grundlegende Anforderungen gelten. Bis heute wurden nach diesem System 27 Richtlinien verabschiedet; allerdings dürften nur wenige zur Bewertung der Sicherheit von elektromagnetischen Feldern am Arbeitsplatz maßgeblich sein. Die entsprechenden Richtlinien werden im Folgenden kurz vorgestellt.

G.3.1 Elektrische Betriebsmittel

In der Europäischen Union in Verkehr gebrachte elektrische Betriebsmittel müssen die Anforderungen der Niederspannungsrichtlinie (2006/95/EG) erfüllen. Diese Richtlinie wurde 2014 neu gefasst, und die Mitgliedstaaten müssen nationale Rechtsvorschriften erlassen, um die neue Niederspannungsrichtlinie (2014/35/EU) zum 20. April 2016 umzusetzen. Von bestimmten Ausnahmen abgesehen, gelten die Niederspannungsrichtlinien für elektrische Betriebsmittel, die mit Wechselspannungen zwischen 50 und 1 000 V oder Gleichspannungen zwischen 75 und 1 500 V betrieben werden.

Nach den Niederspannungsrichtlinien dürfen elektrische Betriebsmittel bei einer ordnungsgemäßen Installation und Wartung sowie einer bestimmungsgemäßen Verwendung die Gesundheit und Sicherheit von Menschen und Haus- und Nutztieren sowie Gütern nicht gefährden. Eine Anforderung in diesen Richtlinien ist für den vorliegenden Leitfaden von besonderer Bedeutung: Es sind technische Maßnahmen festzulegen, mit denen die Entstehung von Strahlungen verhindert wird, aus denen sich Gefahren ergeben können.

G.3.2 Maschinen

In der Europäischen Union in Verkehr gebrachte Maschinen müssen die Anforderungen der Maschinenrichtlinie (2006/42/EG) erfüllen. Im weitesten Sinne gilt die Richtlinie für eine mit einem Antriebssystem ausgestattete oder dafür vorgesehene Gesamtheit miteinander verbundener Teile oder Vorrichtungen, von denen mindestens eines bzw. eine beweglich ist. Mit Ausnahme von Maschinen zum Heben von Lasten ist Ausrüstung, die allein durch menschliche oder tierische Kraft betrieben wird, vom Anwendungsbereich dieser Richtlinie ausgeschlossen. Bei diesem breiten Anwendungsbereich gibt es eine Reihe spezieller Ausschlüsse und Ergänzungen.

Mit der Maschinenrichtlinie soll sichergestellt werden, dass Maschinen keine Gefahr für die Gesundheit und Sicherheit darstellen. Die Richtlinie enthält spezielle Anforderungen, damit gewährleistet ist, dass unerwünschte Strahlungsemissionen ausgeschlossen oder so weit verringert werden, dass sie keine schädlichen Auswirkungen für den Menschen haben. Alle funktionsbedingten Emissionen von nichtionisierender Strahlung während der Einstellung, des Betriebs oder der Reinigung müssen so weit begrenzt werden, dass sie keine schädlichen Auswirkungen für den Menschen haben.

Maschinenhersteller müssen in der mit der Maschine gelieferten Betriebsanleitung Angaben zu den Restrisiken machen. Außerdem müssen Hersteller Angaben über wahrscheinliche nichtionisierende Strahlung machen, die Personen, insbesondere Träger von implantierten medizinischen Geräten, schädigen kann.

G.3.3 Funkanlagen

In der Europäischen Union in Verkehr gebrachte Funkanlagen müssen die Anforderungen der Richtlinie über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen (1999/5/EG) erfüllen. Ab 13. Juni 2016 wird diese Richtlinie aufgehoben und durch die Funkanlagen-Richtlinie (2014/53/EU) ersetzt. Gemäß Übergangsregelungen dürfen Funkanlagen, die im Einklang mit der Richtlinie 1999/5/EG stehen, bis zum 13. Juni 2017 weiterhin in Verkehr gebracht werden. Die Funkanlagen-Richtlinie gilt für jede Ausrüstung, die zum Zweck der Funkkommunikation und/oder der Funkortung (die Bestimmung der Position, der Geschwindigkeit oder anderer Merkmale eines Objekts oder die Erfassung von Daten in Bezug auf diese Parameter mittels Funkwellen) bestimmungsgemäß Funkwellen ausstrahlt und/oder empfängt. Der Anwendungsbereich der Richtlinie über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen ist breiter und umfasst beispielsweise auch Ausrüstung, die für den Anschluss an ein öffentliches Netz bestimmt ist.

Beide Richtlinien enthalten dieselben Anforderungen im Hinblick auf die Sicherheit und Gesundheit wie die Niederspannungsrichtlinien (siehe Abschnitt G3.1), jedoch ohne Beschränkung auf bestimmte Spannungsgrenzen.

G.3.4 Medizinische Geräte

In der Europäischen Union in Verkehr gebrachte elektronische medizinische Geräte müssen entweder die Anforderungen der Medizinprodukte-Richtlinie (93/42/EWG) oder die der Richtlinie über aktive implantierbare medizinische Geräte (90/385/EWG) erfüllen. Auf beide Richtlinien wird im Abschnitt E2.1.1 (Richtlinie über aktive implantierbare medizinische Geräte) sowie im Abschnitt E2.3 (Medizinprodukte-Richtlinie) näher eingegangen.

G.3.5 Persönliche Schutzausrüstung

In der Europäischen Union in Verkehr gebrachte persönliche Schutzausrüstungen müssen die Anforderungen der Richtlinie über die Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen (89/686/EWG) erfüllen. Von bestimmten Ausschlüssen abgesehen, ist eine persönliche Schutzausrüstung im weitesten Sinn definiert als jede Vorrichtung oder jedes Mittel, das dazu bestimmt ist, von einer Person getragen oder gehalten zu werden, und das diese gegen ein oder mehrere Risiken schützen soll, die ihre Gesundheit sowie ihre Sicherheit gefährden können.

Nach der Richtlinie über die Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen dürfen persönliche Schutzausrüstungen nur in Verkehr gebracht und in Betrieb genommen werden, wenn sie bei angemessener Wartung und bestimmungsgemäßer Benutzung die Gesundheit der Benutzer schützen und ihre Sicherheit gewährleisten. Persönliche Schutzausrüstungen dürfen die Gesundheit oder Sicherheit von anderen Personen, Haustieren oder Gütern nicht gefährden.

G.3.6 Allgemeine Produktsicherheit

Die Richtlinie über die allgemeine Produktsicherheit (2001/95/EG) soll die Sicherheit von Produkten gewährleisten, die für den Gebrauch durch Verbraucher bestimmt sind. Fallen die entsprechenden Produkte in den Anwendungsbereich einer nach der neuen Konzeption oder dem neuen Rechtsrahmen verabschiedeten Richtlinie, haben die Anforderungen der betreffenden Richtlinie normalerweise Vorrang vor den Anforderungen der Richtlinie über die allgemeine Produktsicherheit. Zweck der Richtlinie über die allgemeine Produktsicherheit ist zwar der Schutz der Verbraucher, sie gilt aber auch für Produkte, die zur gewerblichen Nutzung erworben wurden, sofern das Produkt für den Verbrauchermarkt bestimmt ist.

Nach der Richtlinie über die allgemeine Produktsicherheit darf ein Produkt keine oder nur geringe, mit seiner Verwendung zu vereinbarende und unter Wahrung eines hohen Schutzniveaus für die Gesundheit und Sicherheit von Personen vertretbare Gefahren bergen. Diese Anforderungen gelten für jede vernünftigerweise vorhersehbare Verwendung, was auch die Inbetriebnahme, Installation und Wartungsanforderungen einschließt.

G.3.7 Elektromagnetische Verträglichkeit

In der Europäischen Union in Verkehr gebrachte oder in Betrieb genommene Geräte, die elektromagnetische Störungen verursachen können oder deren Betrieb durch elektromagnetische Störungen beeinträchtigt werden kann, müssen die Anforderungen der Richtlinie über die elektromagnetische Verträglichkeit (2004/108/EG) erfüllen. Diese Richtlinie wurde kürzlich neu gefasst, und die neue Richtlinie über die elektromagnetische Verträglichkeit (2014/30/EU) tritt am 20. April 2016 in Kraft, wobei die bestehende Richtlinie zum selben Datum aufgehoben wird. Geräte, die vor dem 20. April 2016 in Verkehr gebracht werden und im Einklang mit der Richtlinie 2004/108/EG stehen, können auch nach diesem Datum weiterhin auf dem Markt bereitgestellt werden. Bestimmte Geräte sind von diesen Richtlinien ausgenommen, beispielsweise Geräte, die in den Anwendungsbereich der Richtlinie über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen fallen (siehe G3.3), sowie luftfahrttechnische Ausrüstung. Anforderungen hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit von Luftfahrzeugen sind in der Verordnung (EG) Nr. 216/2008 bzw. von Vier- und Mehradfahrzeugen in der Verordnung (EG) Nr. 661/2009 enthalten.

Die Richtlinien über die elektromagnetische Verträglichkeit enthalten keine Bestimmungen, die sich speziell auf die Gewährleistung der Gesundheit und Sicherheit von Menschen beziehen. Sie enthalten dagegen Anforderungen, um elektromagnetische Störungen zu begrenzen, damit andere Betriebsmittel störungsfrei arbeiten können. Außerdem enthalten die Richtlinien eine Bestimmung, nach der Betriebsmittel so entworfen und gefertigt sein müssen, dass sie gegen die bei bestimmungsgemäßem Betrieb zu erwartenden elektromagnetischen Störungen hinreichend unempfindlich sind, um ohne unzumutbare Beeinträchtigung bestimmungsgemäß arbeiten zu können. Diese Anforderungen wirken sich unter Umständen auf die Sicherheit in Bezug auf einige indirekte Auswirkungen aus.

G.4 Empfehlung des Rates der Europäischen Union

Zum Schutz der Bevölkerung in der Gemeinschaft hat der Rat der Europäischen Union eine Empfehlung zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (1999/519/EG) verabschiedet. Die Empfehlung stellt einen Rahmen dar, um die Bevölkerung in der Gemeinschaft vor nachweislich gesundheitsschädlichen Auswirkungen zu schützen, die als Folge der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern eintreten können. Sie geht nicht auf den Schutz von Arbeitnehmern ein.

Die Empfehlung des Rates ist nicht verbindlich, sie liefert aber Basisgrenzwerte, bei denen es sich um Größen handelt, die nicht überschritten werden sollten. Diese Basisgrenzwerte sind vom Konzept her mit den in der EMF-Richtlinie angegebenen Expositionsgrenzwerten vergleichbar.

Da sich die Basisgrenzwerte meistens auf interne Größen im Inneren des Körpers beziehen, die nicht problemlos gemessen werden können, sind in der Empfehlung des Rates auch Referenzwerte angegeben, die sich auf externe Feldgrößen beziehen, die einfacher bewertet werden können. Die Referenzwerte werden aus den Basisgrenzwerten mittels eines konservativen Ansatzes abgeleitet. Wenn der Referenzwert nicht überschritten wird, kann somit davon ausgegangen werden, dass auch der zugrunde liegende Basisgrenzwert nicht überschritten wird. Da die Ableitung der Referenzwerte auf der Annahme ungünstigster Bedingungen beruht, ist eine Überschreitung der Referenzwerte häufig möglich, ohne dass dadurch auch die Basisgrenzwerte überschritten werden. In dieser Hinsicht entsprechen die Referenzwerte in ihrer Konzeption den in der EMF-Richtlinie angegebenen Auslöseschwellen.

Den Mitgliedstaaten wird empfohlen, die Risiken und den Nutzen von Technologien, die elektromagnetische Felder erzeugen, unter Anwendung dieses Systems von Basisgrenzwerten und Referenzwerten zu erwägen. Die Mitgliedstaaten sollten außerdem der Bevölkerung Informationen zur Verfügung stellen und Forschungsarbeiten zur Untersuchung der gesundheitlichen Wirkungen von elektromagnetischen Feldern fördern und überprüfen.

In der Empfehlung des Rates wird die Europäische Kommission aufgefordert, Beiträge zum Schutz der Bevölkerung zu leisten. Die Kommission wird aufgefordert, auf die Festlegung von europäischen Normen zur Unterstützung des beschriebenen Systems zum Schutz gegenüber der Gefährdung durch elektromagnetische Felder hinzuwirken, die Erforschung der lang- und kurzfristigen Auswirkungen einer Exposition zu fördern, sich für das Zustandekommen eines internationalen Konsenses in diesem Bereich einzusetzen und die in dieser Empfehlung behandelten Fragen im Hinblick auf ihre Überprüfung weiterhin zu verfolgen.

Das in der Empfehlung des Rates beschriebene Schutzsystem wurde in weiten Teilen als Rahmen für den Schutz der Bevölkerung übernommen. Insbesondere wurden die in der Empfehlung des Rates angegebenen Referenzwerte als Grundlage für die Beherrschung von Expositionen in vielen öffentlich zugänglichen Bereichen verwendet. Darüber hinaus sind die Referenzwerte in die Entwicklung von Normen im Hinblick auf die elektromagnetische Störfestigkeit von aktiven implantierten medizinischen Geräten eingeflossen.

ANHANG H

EUROPÄISCHE UND INTERNATIONALE NORMEN

Technische Normen zu elektromagnetischen Feldern wurden von zahlreichen Organisationen wie der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (International Electrotechnical Commission, IEC), dem Europäischen Komitee für elektrotechnische Normung (European Committee for Electrotechnical Standardization, CENELEC) sowie anderen Normungsorganisationen entwickelt.

Vom CENELEC wurde bereits eine Reihe von Normen zu Expositionen am Arbeitsplatz erarbeitet, die sich auf die Beurteilung von elektromagnetischen Feldern beziehen. Diese Normen wurden jedoch im Hinblick auf die Einhaltung der in der vorherigen Fassung der EMF-Richtlinie angegebenen Grenzwerte entwickelt. Deshalb sollten Normen aus dem Jahr 2013 und davor nicht zur Bewertung der Konformität mit der aktuellen EMF-Richtlinie verwendet werden.

Einige bestehende Normen erlauben jedoch die Konformitätsbewertung in Bezug auf die Empfehlung 1999/519/EG des Rates. Nach Artikel 4 Absatz 6 der EMF-Richtlinie müssen Arbeitgeber für öffentlich zugängliche Arbeitsplätze keine Expositionsbewertung durchführen, wenn durch eine Bewertung bereits nachgewiesen wurde, dass die Anforderungen der Empfehlung 1999/519/EG des Rates erfüllt werden. Diese Bestimmung gilt, sofern die Exposition der Arbeitnehmer die Exposition der allgemeinen Bevölkerung nicht überschreiten und keine Gesundheits- und Sicherheitsrisiken bestehen.

Vom CENELEC werden ebenfalls Produktnormen veröffentlicht, die an die verschiedenen Produktrichtlinien angeglichen sind (siehe Abschnitt G3). Eine Liste der auf die einzelnen Produktrichtlinien bezogenen harmonisierten Normen ist auf der Website der Europäischen Kommission im Bereich „Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs“ zu finden. Die genannten Normen können von Herstellern und Lieferanten herangezogen werden, um die Einhaltung der Sicherheitsanforderungen im Hinblick auf elektromagnetische Felder nachzuweisen. Wenn Geräte für die öffentliche Nutzung bestimmt sind und die für diese Geräte geltenden strengeren Sicherheitsanforderungen einhalten, wird davon ausgegangen, dass der Arbeitsplatz mit der Empfehlung 1999/519/EG des Rates im Einklang steht, sofern an diesem Arbeitsplatz keine weiteren Geräte verwendet werden.

Die entwickelten Normen (wie oben erwähnt) fallen generell in eine von zwei Kategorien – Emissionsnormen und Expositionsnormen:

- Emissionsnormen beziehen sich auf die Emissionen eines Geräts und dienen Herstellern als Grundlage für den Nachweis, dass das von einem Produkt emittierte Feld einen bestimmten Grenzwert nicht überschreitet. Bei den Grenzwerten handelt es sich gewöhnlich um die in der EMF-Richtlinie angegebenen Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerte oder um die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates angegebenen Werte. Wichtig ist, dass diese Bewertungen auf der bestimmungsgemäßen Verwendung der Geräte beruhen. Werden Geräte nicht wie vom Hersteller bestimmt verwendet, ist die Bewertung unter Umständen nicht gültig.
- Expositionsnormen liefern in der Regel standardisierte Verfahren zur Bewertung der Expositionen in bestimmten Industriezweigen oder für eine bestimmte Art von Technologie. Bei der Risikobewertung für Arbeitsplätze ist zu berücksichtigen, wie das Gerät verwendet wird, und es sind alle Aspekte der Arbeit mit dem Gerät (einschließlich Reinigung und Wartung) einzubeziehen.

Im Allgemeinen soll mithilfe von Emissionsnormen sichergestellt werden, dass die Gesamtexposition gegenüber der von einem Gerät ausgehenden Emissionen so niedrig ist, dass bei Verwendung des Geräts – selbst in der Nähe anderer Geräte, die elektromagnetische Felder emittieren – die Expositionsschwellen nicht überschritten werden.

Es ist zu beachten, dass sich diese Normen auf die Bewertung einzelner Geräte beziehen, während in der EMF-Richtlinie die Exposition der Arbeitnehmer gegenüber allen Quellen berücksichtigt wird. Die Möglichkeit besteht, dass bei einer Exposition gegenüber mehreren Quellen, von denen jede einzelne die zulässigen Werte einhält, die resultierende Gesamtexposition einer Person eine Auslöseschwelle oder einen Expositionsgrenzwert überschreiten kann. Allgemein werden die Felder mit zunehmendem Abstand zur Quelle schnell schwächer. Wenn sich die Geräte in einem ausreichend großen Abstand voneinander befinden, überschreiten die resultierenden Felder deshalb die zulässigen Werte normalerweise nicht.

Derzeit arbeitet das CENELEC an der Entwicklung neuer technischer Normen, in denen die Einhaltung der Anforderungen der aktuellen EMF-Richtlinie im Mittelpunkt steht. Nach ihrer Annahme werden diese Normen veröffentlicht. Jedoch kann es eine gewisse Zeit dauern, bis eine umfassende Normenreihe ausgearbeitet ist. Dennoch sollte jeder Arbeitgeber, der eine Risikobewertung durchführen muss, prüfen, ob eine Norm verfügbar ist, die sich auf die aktuelle EMF-Richtlinie bezieht.

Innerhalb des CENELEC obliegt die Entwicklung neuer Normen in Bezug auf die Bewertung von Expositionen dem Technischen Komitee CLC/TC106X „Einwirkung elektromagnetischer Felder auf den Menschen“. Die Fortschritte bei der Entwicklung neuer Normen können auf der Website des CENELEC im Bereich TC106X eingesehen werden.

ANHANG I

RESSOURCEN

I.1 Beratende/Regulatorische

I.1.1 Europäische Union

Land	Organisation	Website
Belgien	Föderaler Öffentlicher Dienst Beschäftigung, Arbeit und Soziale Konzertierung	www.employment.belgium.be
Bulgarien	National Center of Public Health and Analyses	ncphp.government.bg/en
Dänemark	Dänische Arbeitsschutzbehörde	www.at.dk
Deutschland	Bundesministerium für Arbeit und Soziales	www.bmas.bund.de
Estland	Arbeitsinspektion	www.ti.ee
Finnland	Sozial- und Gesundheitsministerium	www.riskithaltuun.fi
Frankreich	Ministère du Travail, de l'Emploi, de la Formation professionnelle et du Dialogue social	www.travail.gouv.fr
Griechenland	Ministerium für Arbeit und soziale Sicherheit	www.mathra.gr
Irland	Behörde für Gesundheitsschutz und Sicherheit	www.hsa.ie
Italien	Staatliche Unfallversicherungsanstalt	www.inail.it
Kroatien	Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Unternehmertum	www.mrms.hr
Lettland	Staatliches Gewerbeaufsichtsamt der Republik Lettland	www.vdi.gov.lv
Litauen	Ministerium für Sozialschutz und Arbeit	www.socmin.lt/en
Luxemburg	Inspection du Travail et des Mines	www.itm.lu/de/home.html
Malta	Nationales Amt für Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz	www.ohsa.org.mt
Niederlande	Nationalinstitut für das Gesundheitswesen und die Umwelt (RIVM)	www.rivm.nl
Österreich	Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz	www.bmask.gv.at/site
Polen	Zentrales Institut für Arbeitsschutz	www.ciop.pl
Portugal	Autoridade para as Condições de Trabalho	www.act.gov.pt
Rumänien	Nationales FuE-Institut für Arbeitsschutz	www.protectiamuncii.ro
Schweden	Schwedisches Zentralamt für das Arbeitsumfeld	www.av.se
Slowakei	Ministerium für Arbeit, Soziale Angelegenheiten und Familie	www.employment.gov.sk/en
Slowenien	Ministerium für Arbeit, Familie und Soziales	www.gov.si
Spanien	Nationales Institut für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz	www.meys.es
Tschechische Republik	Ministerium für Arbeit und Soziales	www.mpsv.cz/cs
Ungarn	Nationales Forschungsinstitut für Strahlenbiologie und Strahlenhygiene	www.osski.hu
Vereinigtes Königreich	Health and Safety Executive Public Health England	www.hse.gov.uk www.gov.uk/government/organisations/public-health-england
Zypern	Ministerium für Arbeit und Sozialversicherung	www.mlsi.gov.cy

I.1.2 Internationale Organisationen

Organisation	Website
Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP)	www.icnirp.org
Weltgesundheitsorganisation	www.who.int
Europäischer Gewerkschaftsbund (EGB)	www.etuc.org
European Public Health Alliance	www.epha.org
Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz	osha.europa.eu
International Commission on Occupational Health	www.icohweb.org

I.2 Handelsverbände

Organisation	Website
Council of European Employers of the Metal, Engineering and Technology-Based Industries	www.ceemet.org
European Automobile Manufacturers Association	www.acea.be
Euro Chlor	www.eurochlor.org
European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E)	www.entsoe.eu
European Coordination Committee of the Radiological Electromedical and Healthcare IT Industry (COCIR)	www.cocir.org
Union of the Electricity Industry (EURELECTRIC)	www.eurelectric.org

I.3 Nationale Leitfäden

Land	Dokument
Belgien	Verordnung Nr. 7 zu „Minimal requirements for safety and health at work“, Staatsblatt Nr. 88, 1999
Dänemark	Executive Order Nr. 559 über „Performance of Work“ Executive Order Nr. 513 zur Änderung von Executive Order Nr. 559 über „Performance of Work“ Ikke-ioniserende stråling, Vejledning om ikke-ioniserende stråling med frekvenser under 300 GHz D.6.1.1, Mai 2002 At-VEJLEDNING, ARBEJDSSTEDETS INDRETNING – A.1.8, Gravide og ammendes arbejdsmiljø
Deutschland	BGV B11, Unfallverhütungsvorschrift, Elektromagnetische Felder BGR B11, Berufsgenossenschaftliche Regel, Elektromagnetische Felder BGI 5011, Beurteilung magnetischer Felder von Widerstandsschweißeinrichtungen BGI/GUV-I 5111, Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder IFA Report 4/2013, Elektromagnetische Felder an handgeführten Mittelfrequenz-/Inverter-Punktschweißzangen IFA-Report 5/2011, Elektromagnetische Felder an Anlagen, Maschinen und Geräten IFA-Report 2/2009, Elektromagnetische Felder an handgeführten Punktschweißzangen Hannah Heinrich (2007). Assessment of non-sinusoidal, pulsed, or intermittent exposure to low frequency electric and magnetic fields, <i>Health Physics</i> , 92(6) BMAS-Forschungsbericht FB 400-D, Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz, ISSN 0174-4992
Estland	Töökesskonna füüsiliste ohutegurite piinormid ja ohutegurite parameetrite mõõtmise kord
Finnland	Toimintamalli RF-kenttien aiheuttamissa tapaturmaisissa yliaistustumistilanteissa, Tommi Alanko, Harri Lindholm, Soile Jungewelter, Maria Tiikkaja, Maila Hietanen (2013), ISBN 978-952-261-349-3 (PDF, FI), ISBN 978-952-261-393-6 (PDF, EN) Sydäntahdistimen häiriötön toiminta työympäristön sähkömagneettisissa kentissä, Maria Tiikkaja, Maila Hietanen, Tommi Alanko, Harri Lindholm (2012), ISBN 978-952-261-212-0 (Druckausgabe) ISBN 978-952-261-213-7 (PDF, FI), ISBN 978-952-261-295-3 (PDF, EN) Turvallinen työskentely tukiasemien lähellä, Tommi Alanko, Maila Hietanen (2006), ISBN (vihko) 951-802-707-2, ISBN (PDF) 951-802-708-0 Sähkömagneettiset kentät työympäristössä – Opaskirja työntekijöiden altistumisen arvioimiseksi, Maila Hietanen, Patrick von Nandelstadh, Tommi Alanko, ISBN 951-802-614-9, ISSN 1458-9311 Työntekijöiden altistuminen tukiasemien radiotaajuisille kentille, Tommi Alanko, Maila Hietanen, Patrick von Nandelstadh (2006), ISBN 951-802-667-X, ISSN 1458-9311 Sydäntahdistinpotilaan työhön paluun tukeminen – Sähkömagneettisten häiriöriskien hallinta, Maria Tiikkaja, Maila Hietanen, Tommi Alanko ja Harri Lindholm (2012), ISBN 978-952-261-204-5 (nid.) ISBN 978-952-261-205-2 (PDF)
Frankreich	Hygiène et sécurité du travail no 233 Décembre 2013 (Widerstandsschweißen) INRS, Exposition des travailleurs aux risques dus aux champs électromagnétiques, Guide d'évaluation des risques

Griechenland	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ ΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ (NMR), 5 ^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014
Lettland	Atgādne par elektromagnētisko lauku, Aktualizēts 2011.gada jūnijā
Litauen	Litauische Hygienenorm HN 110: 2001 über elektromagnetische Felder mit einer Frequenz von 50 Hz am Arbeitsplatz – standardisierte Parameter und Messanforderungen, Arbeitsnr. 660/174 vom 21. Dezember 2001 Litauische Hygienenorm HN 80:2011 über elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz und in der Wohnumgebung – standardisierte Parameter und Messanforderungen im Frequenzbereich 10 kHz – 300 GHz, genehmigt durch die Verordnung des Gesundheitsministers Nr. V-199 vom 2. März 2011 Regeln über die Bestimmung der zulässigen Werte für elektrostatische Felder am Arbeitsplatz, genehmigt durch die Verordnung des Gesundheitsministers Nr. 28 vom 18. Januar 2001
Luxemburg	Conditions d'exploitation pour les émetteurs d'ondes électromagnétiques à haute fréquence, ITM-CL 179.4
Polen	EU Directive, ICNIRP Guidelines and Polish Legislation on Electromagnetic Fields, <i>International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)</i> , 12(2), 125-136 Exposure of Workers to Electromagnetic Fields. A Review of Open Questions on Exposure Assessment Techniques, <i>International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)</i> , 15(1), 3-33
Rumänien	MONITORUL OFICIAL AL ROMANIEI Anul 175 (XIX) – Nr. 645, Vineri, 21 septembrie 2007

I.4 Branchenspezifische Leitfäden

Organisation	Leitfaden
Euro Chlor	Electromagnetic Fields in the Chlorine Electrolysis Units: Health Effects, Recommended Limits, Measurement Methods and Possible Prevention Actions. HEALTH 3. 3. Ausgabe 2014

ANHANG J

GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN

J.1 Glossar

Ausfallsicherheit	Eine ausfallsichere Komponente ist eine Komponente, deren Ausfall keine erhöhte Gefahr darstellt, d. h., der Ausfall erfolgt unter sicheren Umständen. Das Gerät wird im Fehlermodus außer Betrieb genommen oder in einen nicht gefährlichen Zustand versetzt.
Ausnahme	Teilweise Außerkraftsetzung eines Gesetzes oder einer Verordnung unter bestimmten Umständen
Dielektrikum	Elektrischer Isolator, der durch ein angelegtes elektrisches Feld polarisiert werden kann
Dipol	Antenne bestehend aus einem leitfähigen Stab, die üblicherweise in der Mitte gespeist wird
Dosimetrie	Berechnung oder Einschätzung der Energiedosis in einem menschlichen Körper
Elektromagnetisches Spektrum	Das elektromagnetische Spektrum ist der Bereich aller möglichen Frequenzen elektromagnetischer Strahlung. Das Spektrum reicht von kurzen Wellen (wie Röntgenstrahlen) über sichtbare Strahlung bis hin zu längeren Wellen wie Mikrowellen, Fernsehwellen und Radiowellen.
Elektromagnetische Strahlung	Elektromagnetische Strahlung ist eine Form der Strahlung, die aus elektrischen sowie magnetischen Feldkomponenten besteht; sie lässt sich als Welle beschreiben, die sich mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzt. Unter bestimmten Umständen liegt elektromagnetische Strahlung als Partikel, sogenannte Photonen, vor.
Expositionsindex	Festgestellte Exposition dividiert durch den Grenzwert. Ist der Expositionsindex kleiner als eins, wird der Grenzwert für die Exposition eingehalten.
Frequenz	Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit. Symbol: f; Einheit: Hz
Gefahr	Ein Vorkommnis, das Schaden verursachen kann. Eine Gefahr kann für Menschen, Güter oder die Umwelt bestehen.
Hochfrequente Strahlung	Elektromagnetische Strahlung, die häufig im Bereich zwischen 100 kHz und 300 GHz definiert wird
Induktion	Induktion (elektromagnetische) ist die Erzeugung einer Spannung in einem elektrischen Leiter, der einem zeitvariablen Magnetfeld ausgesetzt ist.
Industrielle Elektrolyse	In einer Großanlage eingesetzter Prozess, bei dem ein elektrischer Strom eine andernfalls nicht spontane chemische Reaktion auslöst
International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP)	Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung. Ein aus unabhängigen wissenschaftlichen Experten bestehendes Gremium, das mit der Verbreitung von Informationen und Empfehlungen im Hinblick auf die potenziellen Gesundheitsgefahren der Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung befasst ist
Joule	Einheit der Energie. Entspricht der von einer Kraft von 1 Newton verrichteten Arbeit, um ein Objekt über einen Meter zu verschieben. Symbol: J
Kontaktstrom	Elektrischer Strom, der in einem Menschen fließt, wenn dieser einen leitfähigen Gegenstand innerhalb eines elektromagnetischen Feldes berührt
Leistungsdichte	Strahlungsleistung pro Flächeneinheit. Einheit: W/m ² oder Wm ⁻²
Magnetpulverprüfung	Methode zur Erkennung von Rissen oder anderen Mängeln in einem magnetischen Material unter Verwendung von Magnetpulver und Magnetfeldern
Magnetresonanztomografie (MRT)	Medizinische bildgebende Technik, die starke Magnetfelder und hochfrequente elektromagnetische Felder nutzt, um detaillierte Bilder vom Inneren des menschlichen Körpers zu erzeugen
Nichtionisierende Strahlung	Strahlung, die keine Ionisation in biologischem Gewebe verursacht. Beispiele sind ultraviolette Strahlung, Licht, Infrarotstrahlung und hochfrequente Strahlung

Orthogonal	Im rechten Winkel (90 Grad)
Phosphene	Von einer Person wahrgenommene Lichtblitze, ohne dass Licht auf die Augen einwirkt
Produktnorm	Dokument, das die grundlegenden Eigenschaften eines Produkts angibt, um seine einheitliche Herstellung und seine Interoperabilität zu gewährleisten
Risiko	Wahrscheinlichkeit von Verletzungen, Schädigungen oder Schäden
Risikofaktor	Produkt aus der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines gefährlichen Ereignisses und der daraus entstehenden Folge oder Schädigung
Sicherheitsverriegelung	Eine mechanische, elektrische oder sonstige Art der Einrichtung, die dazu dient, den Betrieb eines Geräts unter bestimmten Umständen zu verhindern
Sinusförmig	Änderung in einer Form, die durch die trigonometrische Sinusfunktion dargestellt werden kann
Spannung	Einheit der elektrischen Potenzialdifferenz. Symbol: V
Stromdichte	Elektrischer Strom oder Fluss elektrischer Ladungen durch ein leitfähiges Medium (wie Körpergewebe) pro Einheitsquerschnittsfläche. Einheit: Ampere pro Quadratmeter. Symbol: A/m ²
Technische Maßnahmen	Speziell gestaltete technische Sicherheitsmaßnahmen, die als grundlegende Methode zur Reduzierung der Exposition gegenüber Strahlung verwendet werden. Physikalisches Mittel, um den Zugang zu Strahlung zu verhindern
Technische Norm	Dokument, das einen standardisierten Ansatz für einen Prozess angibt
Übertragung	Fortpflanzung von Strahlung über ein Medium. Wenn nicht die gesamte Strahlung absorbiert wird, wird die durchgelassene Strahlung als Übertragung bezeichnet. Abhängig von Wellenlänge, Polarisation, Strahlungsintensität und Übertragungsmaterial
Vernünftigerweise vorhersehbares Ereignis	Eintritt eines Ereignisses unter bestimmten Umständen, die relativ genau vorhergesagt werden können, wobei die Wahrscheinlichkeit bzw. die Häufigkeit seines Auftretens nicht gering oder sehr gering ist
Verriegelung (siehe auch Sicherheitsverriegelung)	Eine mechanische, elektrische oder sonstige Art der Einrichtung, die dazu dient, den Betrieb eines Geräts unter bestimmten Umständen zu verhindern
Verwaltungsmaßnahmen	Sicherheitsmaßnahmen nicht technischer Art wie Key-Control-Indikatoren, Sicherheitsschulungen und Warnhinweise
Walkie-Talkie	Tragbares Zwei-Wege-Kommunikationsgerät, das im freigegebenen Funkfrequenzbereich arbeitet. Offiziellere Bezeichnung: tragbares Funksprechgerät
Watt	Einheit der Leistung; entspricht einer Energie von 1 Joule pro Sekunde. Symbol: W
Wellenlänge	Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden gleichphasig schwingenden Punkten einer Welle. Einheit: Meter; Symbol: m
Wi-Fi	System für die Funkverbindung elektronischer Geräte (z. B. Computer) mit einem lokalen Netzwerk
Zündvorrichtung mit Brückendraht	Ein Detonator, der durch einen elektrischen Strom einen Draht zum Schmelzen bringt; der resultierende Kurzschluss und die Wärme bewirken die Detonation des umgebenden explosiven Materials

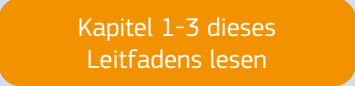


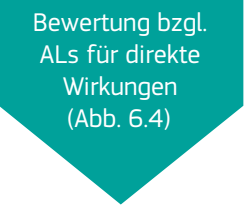

J.2 Abkürzungen

AIMD	Aktives implantiertes medizinisches Gerät
AL	Auslöseschwelle
AM	Amplitudenmodulation
BSS	Basic Safety Standards. Grundlegende Sicherheitsnormen
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization (Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung)
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DVD	Digital Versatile Disc

EI	Expositionsindex
ELF	Extremely Low Frequency
ELV	Expositionsgrenzwert
EMF	Elektromagnetische Felder
ERP	Effektive Strahlungsleistung
FD	Finite Differenzen
FDTD	Finite-Differenzen-Methode im Zeitbereich
FEM	Finite-Elemente-Methode
HF	Hochfrequenz
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung)
IR	Infrarot
IT	Informationstechnologie
LF	Niederfrequenz
MF	Mittelfrequenz
MFR	Summation von multifrequenten Feldern (Multifrequenzmethode)
MRT	Magnetresonanztomografie
NMR	Kernspinresonanzspektroskopie
OiRA	Interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung
PNS	Peripheres Nervensystem
RC	Resistor Capacitor
RF	Radiofrequenz
RFID	Funkwellenidentifikation
RMS	Root-Mean-Square (Effektivwert)
SA	Spezifische Energieabsorption
SAR	Spezifische Energieabsorptionsrate
SHF	Super High Frequency
SPFD	Skalare Potential-Finite-Differenzen-Methode
STD	Shaped Time Domain
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
TV	Fernsehen
UHF	Ultra High Frequency
UKW	Ultrakurzwellen
UV	Ultraviolett
VLF	Very Low Frequency
WBSAR	Mittlere Ganzkörper-SAR
WLAN	Wireless Local Area Network
WPM	Methode gewichteter Spitzenwerte
ZNS	Zentrales Nervensystem

J.3 In den Ablaufdiagrammen verwendete Symbole

Tabelle J3 In den Ablaufdiagrammen in diesem Leitfaden verwendete Symbole

Symbol	Beschreibung	Bedeutung in diesem Leitfaden
 Kapitel 1-3 dieses Leitfadens lesen	Start/Ende	Gibt den Beginn bzw. das Ende eines Prozesses an
 Konformität nachgewiesen?	Entscheidung	Fragestellung, um den Anwender zu einer von zwei Abzweigungen (mit „Ja“ und „Nein“ bezeichnet) weiterzuleiten
 Kapitel 4-8 lesen	Prozess	Gibt den zu folgenden Prozess an, um fortzufahren
 Bewertung bzgl. ALS für direkte Wirkungen (Abb. 6.4)	Verbindung andere Seite	Verbindung zu einem anderen Ablaufdiagramm. Diese Symbole sind farblich gekennzeichnet, um die Eingangs- und Ausgangspunkte anzugeben.
 Siehe Anhang II Tabelle B2	Vorbereitung	Weist den Anwender darauf hin, dass vorbereitende Arbeiten für diesen Abschnitt des Ablaufdiagramms erforderlich sind. Bezieht sich auf ein farblich gekennzeichnetes Kästchen.

ANHANG K

BIBLIOGRAFIE

K.1 Kapitel 5 – Risikobewertung im Zusammenhang mit der EMF-Richtlinie

Occupational health and safety management systems – Guidelines for the implementation of OHSAS 18001:2007.PHSAS 18002:2000.

Forschungsbericht 400-D, Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz. Ein neuer wissenschaftlicher Ansatz für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Beschäftigten. ISSN 0174-4992.

K.2 Kapitel 9 – Schutz- und Präventionsmaßnahmen

ISO (International Organization for Standardization) (2011), Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen – Registrierte Sicherheitszeichen. Deutsche Fassung EN ISO 7010:2012/A5:2015.

Melton, G., und Shaw, R. (2014), *Electromagnetic fields in the welding environment*, RR1018, HSE, London.

K.3 Kapitel 11 – Risiken, Symptome und Gesundheitsüberwachung

Alanko, T., Lindholm, H., Jungewelter, S., Tiikkaja, M. und Hietanen, M. (2014), *Operating model for managing accidental overexposure to RF-fields*, Helsinki, Finnish Institute of Occupational Health. ISBN 978-952-261-393-6.

K.4 Anhang D – Expositionsbewertung

De Santis, V., Chen, X. L., Laakso, I. und Hirata, A. (2013), „On the issues related to compliance of LF pulsed exposures with safety standards and guidelines“, *Phys. Med. Biol.*, 58 (2013), S. 8597-8607.

HVBG (2001), Unfallverhütungsvorschrift „Elektromagnetische Felder“. GUV-V B 11; <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/v-b11.pdf>

Heinrich, H. (2007), „Assessment of non-sinusoidal, pulsed, or intermittent exposure to low frequency electric and magnetic fields“, *Health Phys.*, Band 92, Heft 6, S. 541-546.

ICNIRP (1998), „ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz)“, *Health Phys.*, Band 74, Heft 4, S. 494-522.

ICNIRP (2010), „ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz –100 kHz)“, *Health Phys.*, Band 99, Heft 6, S. 818-836.

ICNIRP (2014), „ICNIRP guidelines for limiting exposure to electric fields induced by movement of the human body in a static magnetic field and by time-varying magnetic fields below 1 Hz“, *Health Phys.*, Band 106, Heft 3,S. 418-425.

ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).

Jokela, K. (2000), „Restricting exposure to pulsed and broadband magnetic fields“, *Health Phys.*, Band 79, Heft 4, S. 373-388.

K.5 Anhang E – Indirekte Auswirkungen und besonders gefährdete Arbeitnehmer

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2012), „Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder“. BGI/GUV-I 5111.

NRPB (2004), „Review of the Scientific Evidence for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0–300 GHz)“, *Documents of the NRPB*, Band 15, Nr. 3.

K.6 Anhang F – Magnetresonanztomografie

Calamante, F., Faulkner, W.H. Jr., Ittermann, B., Kanal, E., Kimbrell, V., Owman, T., Reeder, S.B., Sawyer, A.M., Shellock, F.G. und van den Brink, J.S., für ISMRM Safety Committee (2014), „MR system operator: Recommended minimum requirements for performing MRI in human subjects in a research setting“, *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, doi: 10.1002/jmri.24717.

Capstick, M., McRobbie, D., Hand, J., Christ, A., Kühn, S., Hansson Mild, K., Cabot, E., Li, Y., Melzer, A., Papadaki, A., Prüssmann, K., Quest, R., Rea, M., Ryf, S., Oberle, M. und Kuster, N. (2008), „An investigation into occupational exposure to electromagnetic fields for personnel working with and around medical magnetic resonance imaging equipment“, Bericht zum Projekt VT/2007/017.

CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) (2010), Medizinische elektrische Geräte – Teil 2-33: Besondere Festlegungen für die Sicherheit von Magnetresonanzgeräten für die medizinische Diagnostik. DIN EN 60601-2-33.

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) (2004), „Medical magnetic resonance (MR) procedures: protection of patients“, *Health Phys.*, Band 87, S. 197-216.

ICNIRP (2009), „Amendment to the ICNIRP ,statement on medical magnetic resonance (MR) procedures: protection of patients“, *Health Phys.*, Band 97, Heft 3, S. 259-261.

McRobbie, DW (2012), „Occupational exposure in MRI“, *Br. J. Radiol.*, Band 85, S. 293-312.

MRI Working Group (2008), *Using MRI safely – practical rules for employees*, RIVM, Bilthoven, Niederlande.

Stam, R. (2008), *The EMF Directive and protection of MRI workers*, RIVM-Bericht 610703001/2008, RIVM, Bilthoven, Niederlande.

Stam, R. (2014), „The revised electromagnetic fields directive and worker exposure in environments with high magnetic flux densities“, *Ann. Occup. Hyg.*, Band 58, Nr. 5, S. 529-541.

ANHANG L

RICHTLINIE 2013/35/EU

I

(Gesetzgebungsakte)

RICHTLINIEN

RICHTLINIE 2013/35/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES

vom 26. Juni 2013

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

DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION —

gestützt auf den Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union, insbesondere auf Artikel 153 Absatz 2,

auf Vorschlag der Europäischen Kommission,

nach Zuleitung des Entwurfs des Gesetzgebungsakts an die nationalen Parlamente,

nach Stellungnahme des Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschusses ⁽¹⁾,

nach Anhörung des Ausschusses der Regionen,

gemäß dem ordentlichen Gesetzgebungsverfahren ⁽²⁾,

in Erwägung nachstehender Gründe:

(1) Im Vertrag ist vorgesehen, dass das Europäische Parlament und der Rat durch Richtlinien Mindestvorschriften erlassen können, die die Förderung der Verbesserung insbesondere der Arbeitsumwelt zur Gewährleistung eines höheren Schutzniveaus für die Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer zum Ziel haben. Diese Richtlinien sollten keine verwaltungsmäßigen, finanziellen oder rechtlichen Auflagen vorschreiben, die der Gründung und Entwicklung von kleinen und mittleren Unternehmen entgegenstehen.

(2) Gemäß Artikel 31 Absatz 1 der Charta der Grundrechte der Europäischen Union hat jeder Arbeitnehmer das Recht auf gesunde, sichere und würdige Arbeitsbedingungen.

(3) Nach dem Inkrafttreten der Richtlinie 2004/40/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) (18. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) ⁽³⁾ brachten betroffene, insbesondere medizinische Kreise schwerwiegende Bedenken dahin gehend zum Ausdruck, dass sich die Durchführung dieser Richtlinie auf medizinische Anwendungen auswirken könnte, die sich auf bildgebende Verfahren stützen. Bedenken wurden auch hinsichtlich der Folgen der Richtlinie für bestimmte industrielle Verfahren geäußert.

(4) Die Kommission hat die von den Betroffenen vorgebrachten Argumente sorgfältig geprüft und nach mehreren Konsultationen beschlossen, einige Bestimmungen der Richtlinie 2004/40/EG auf der Grundlage neuer, von international anerkannten Fachleuten vorgelegter wissenschaftlicher Erkenntnisse gründlich zu überdenken.

(5) Die Richtlinie 2004/40/EG wurde durch die Richtlinie 2008/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates ⁽⁴⁾ dahin gehend geändert, dass die Umsetzungsfrist für die Richtlinie 2004/40/EG um vier Jahre verlängert wurde und anschließend diese Umsetzungsfrist nochmals durch die Richtlinie 2012/11/EU des Europäischen Parlaments und des Rates ⁽⁵⁾ bis zum 31. Oktober 2013 verlängert wurde. So sollte der Kommission die Möglichkeit gegeben werden, einen neuen Vorschlag vorzulegen, und den Legislativorganen, eine auf jüngeren und besser belegten Erkenntnissen basierende neue Richtlinie zu erlassen.

(6) Die Richtlinie 2004/40/EG sollte aufgehoben werden, und es sollten angemessenere und verhältnismäßigere Maßnahmen zum Schutz der Arbeitnehmer vor den von elektromagnetischen Feldern ausgehenden Gefährdungen eingeführt werden. Die genannte Richtlinie

⁽¹⁾ ABl. C 43 vom 15.2.2012, S. 47.

⁽²⁾ Standpunkt des Europäischen Parlaments vom 11. Juni 2013. (noch nicht im Amtsblatt veröffentlicht) und Beschluss des Rates vom 20. Juni 2013.

⁽³⁾ ABl. L 159 vom 30.4.2004, S. 1.

⁽⁴⁾ ABl. L 114 vom 26.4.2008, S. 88.

⁽⁵⁾ ABl. L 110 vom 24.4.2012, S. 1.

berücksichtigte nicht die Langzeitwirkungen einschließlich der möglichen karzinogenen Wirkungen aufgrund der Exposition gegenüber zeitvariablen elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern, da hier derzeit kein schlüssiger wissenschaftlicher Beweis für einen Kausalzusammenhang vorliegt. Die vorliegende Richtlinie zielt darauf ab, alle bekannten direkten biophysikalischen Wirkungen und indirekten Wirkungen elektromagnetischer Felder zu erfassen, um nicht nur die Gesundheit und die Sicherheit jedes einzelnen Arbeitnehmers zu schützen, sondern auch für alle Arbeitnehmer in der Union einen Mindestschutz sicherzustellen, bei gleichzeitiger Reduzierung möglicher Wettbewerbsverzerrungen.

- (7) In dieser Richtlinie werden die möglichen Langzeitwirkungen einer Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern nicht berücksichtigt, da derzeit keine gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnisse für einen Kausalzusammenhang vorliegen. Sollten solche gesicherten Erkenntnisse jedoch aufkommen, sollte die Kommission prüfen, mit welchen Mitteln diese Wirkungen am besten bekämpft werden können, und sollte das Europäische Parlament und den Rat in ihrem Bericht über die praktische Umsetzung dieser Richtlinie darüber informieren. Dabei sollte die Kommission, zusätzlich zu den entsprechenden Angaben, die sie von den Mitgliedstaaten erhält, den jüngsten vorliegenden Forschungsergebnissen und den jüngsten wissenschaftlichen Erkenntnissen Rechnung tragen, die sich aus den in diesem Bereich vorliegenden Informationen ergeben.
- (8) Es sollten Mindestanforderungen festgelegt werden, so dass es den Mitgliedstaaten freisteht, zum Schutz der Arbeitnehmer vorteilhaftere Bestimmungen beizubehalten oder zu erlassen, insbesondere niedrigere Auslöseschwellen oder Expositionsgrenzwerte für elektromagnetische Felder festzulegen. Die Umsetzung dieser Richtlinie sollte nicht als Rechtfertigung für eine Absenkung des in den Mitgliedstaaten bereits bestehenden Schutzniveaus benutzt werden.
- (9) Das System zum Schutz vor elektromagnetischen Feldern sollte darauf beschränkt sein, die zu erreichenden Ziele, die einzuhaltenden Grundsätze und die zu verwendenden grundlegenden Werte ohne übermäßige Einzelheiten festzulegen, damit die Mitgliedstaaten in die Lage versetzt werden, die Mindestanforderungen in gleichwertiger Weise anzuwenden.
- (10) Um Arbeitnehmer zu schützen, die elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sind, ist die Durchführung einer effektiven und effizienten Risikobewertung erforderlich. Diese Pflicht sollte jedoch in Bezug auf die am Arbeitsplatz vorliegenden Situation verhältnismäßig sein. Deshalb sollte ein Schutzsystem entwickelt werden, das auf einfache, abgestufte und leicht verständliche Weise unterschiedliche Risiken gruppiert. Folglich kann die Bezugnahme auf eine Reihe von Indikatoren und Standardsituationen, die in Leitfäden zur Verfügung gestellt werden, den Arbeitgebern bei der Erfüllung ihrer Pflicht helfen.
- (11) Die unerwünschten Wirkungen auf den menschlichen Körper hängen von der Frequenz des elektromagnetischen Feldes oder der elektromagnetischen Strahlung ab, dem bzw. der der Körper ausgesetzt ist. Deshalb müssen die Systeme zur Begrenzung der Exposition entsprechend den jeweiligen Expositions- und Frequenzmus-

tern gestaltet werden, um die Arbeitnehmer, die elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sind, ausreichend zu schützen.

- (12) Eine Verringerung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern lässt sich wirksamer erreichen, wenn bereits bei der Planung der Arbeitsplätze Präventivmaßnahmen getroffen werden sowie wenn der Verringerung von Gefahren bereits am Entstehungsort bei der Auswahl der Arbeitsmittel, Arbeitsverfahren und Arbeitsmethoden der Vorzug gegeben wird. Bestimmungen über Arbeitsmittel und Arbeitsmethoden tragen somit zum Schutz der betroffenen Arbeitnehmer bei. Eine wiederholte Durchführung der Risikobewertung sollte allerdings vermieden werden, wenn die Arbeitsmittel die Anforderungen von einschlägigem Unionsrecht zu Produkten erfüllen, die ein strengeres Sicherheitsniveau vorschreiben als die vorliegende Richtlinie. Somit ist in einer großen Zahl von Fällen eine vereinfachte Bewertung zulässig.
- (13) Die Arbeitgeber sollten entsprechend dem technischen Fortschritt und dem wissenschaftlichen Kenntnisstand auf dem Gebiet der durch die Einwirkung von elektromagnetischen Feldern entstehenden Gefahren Anpassungen vornehmen, um den Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer zu verbessern.
- (14) Da es sich bei der vorliegenden Richtlinie um eine Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit ⁽¹⁾ handelt, finden unbeschadet strengerer und/oder spezifischerer Vorschriften der vorliegenden Richtlinie die Bestimmungen der Richtlinie 89/391/EWG auf den Bereich der Exposition von Arbeitnehmern gegenüber elektromagnetischen Feldern Anwendung.
- (15) Die in dieser Richtlinie festgelegten physikalischen Größen, Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen stützen sich auf die Empfehlungen der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection — ICNIRP) und sollten gemäß den Konzepten der ICNIRP in Betracht gezogen werden, insoweit diese Richtlinie nichts anderes vorsieht.
- (16) Um sicherzustellen, dass diese Richtlinie auf dem aktuellen Stand bleibt, sollte der Kommission die Befugnis übertragen werden, gemäß Artikel 290 des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union Rechtsakte hinsichtlich rein technischer Änderungen der Anhänge zu erlassen, um dem Erlass von Verordnungen und Richtlinien im Bereich der technischen Harmonisierung und Normung, dem technischen Fortschritt, Änderungen in den wichtigsten Normen oder Spezifikationen und neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen über Gefahren elektromagnetischer Felder Rechnung zu tragen und Auslöseschwellen anzupassen. Es ist von besonderer Bedeutung, dass die Kommission im Zuge ihrer Vorbereitungsarbeit angemessene Konsultationen, auch auf der Ebene von Experten, durchführt. Bei der Vorbereitung und Ausarbeitung delegierter Rechtsakte sollte die Kommission gewährleisten, dass die einschlägigen Dokumente dem Europäischen Parlament und dem Rat gleichzeitig, rechtzeitig und auf angemessene Weise übermittelt werden.

⁽¹⁾ ABl. L 183 vom 29.6.1989, S. 1.

- (17) Wenn rein technische Änderungen der Anhänge erforderlich werden, sollte die Kommission eng mit dem Beratenden Ausschuss für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz zusammenarbeiten, der durch den Beschluss des Rates vom 22. Juli 2003 ⁽¹⁾ eingesetzt wurde.
- (18) In außergewöhnlichen Fällen, wenn Gründe äußerster Dringlichkeit es zwingend erfordern, wie etwa eine mögliche unmittelbare Gefährdung der Gesundheit und Sicherheit von Arbeitnehmern durch elektromagnetische Felder, sollte die Möglichkeit eingeräumt werden, das Dringlichkeitsverfahren auf von der Kommission erlassene delegierte Rechtsakte anzuwenden.
- (19) Die Mitgliedstaaten haben sich gemäß der Gemeinsamen Politischen Erklärung der Mitgliedstaaten und der Kommission vom 28. September 2011 zu erläuternden Dokumenten ⁽²⁾ dazu verpflichtet, in begründeten Fällen zusätzlich zur Mitteilung ihrer Umsetzungsmaßnahmen ein oder mehrere Dokumente zu übermitteln, in denen der Bezug zwischen den Bestandteilen einer Richtlinie und den entsprechenden Teilen innerstaatlicher Umsetzungsinstrumente erläutert wird. In Bezug auf diese Richtlinie hält der Gesetzgeber die Übermittlung derartiger Dokumente für gerechtfertigt.
- (20) Ein System, das Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen vorsieht, sollte als Hilfsmittel angesehen werden, das die Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus im Hinblick auf gesundheitsschädliche Wirkungen und Sicherheitsrisiken, die sich aus der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern ergeben können, erleichtert. Ein solches System kann aber mit spezifischen Bedingungen bei bestimmten Tätigkeiten in Konflikt geraten, etwa bei der Nutzung bildgebender Verfahren auf Basis der Magnetresonanz im medizinischen Bereich. Daher ist es notwendig, diesen besonderen Bedingungen Rechnung zu tragen.
- (21) Um den Besonderheiten der Streitkräfte Rechnung zu tragen und ihren wirksamen Einsatz und ihre wirksame Interoperabilität — auch bei gemeinsamen internationalen militärischen Übungen — zu ermöglichen, sollten die Mitgliedstaaten die Möglichkeit haben, gleichwertige oder spezifischere Schutzsysteme wie etwa international vereinbarte Standards, wie zum Beispiel NATO-Normen, anzuwenden, sofern gesundheitsschädliche Wirkungen und Sicherheitsrisiken vermieden werden.
- (22) Arbeitgeber sollten verpflichtet werden sicherzustellen, dass Risiken durch elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz ausgeschlossen oder auf ein Mindestmaß reduziert werden. Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass die in dieser Richtlinie festgelegten Expositionsgrenzwerte in bestimmten Fällen und unter hinreichend begründeten Umständen lediglich zeitweilig überschritten werden. In derartigen Fällen sollten die Arbeitgeber die erforderlichen Maßnahmen treffen, um dafür zu sorgen, dass die Expositionsgrenzwerte so schnell wie möglich wieder eingehalten werden.
- (23) Ein System, das ein hohes Schutzniveau in Bezug auf die möglichen gesundheitsschädlichen Wirkungen und die Sicherheitsrisiken einer Exposition gegenüber elektromag-

netischen Feldern gewährleistet, sollte spezifische Arbeitnehmergruppen, die besonders gefährdet sind, angemessen berücksichtigen und Probleme durch Störungen bei medizinischen Geräten, etwa metallischen Prothesen, Herzschrittmachern und Defibrillatoren, Cochlea-Implantaten und sonstigen Implantaten oder am Körper getragenen medizinischen Geräten, oder Auswirkungen auf den Betrieb solcher Geräte vermeiden. Probleme durch Störungen insbesondere bei Herzschrittmachern können bei Werten unterhalb der Auslöseschwellen auftreten und sollten deshalb entsprechenden Vorkehrungen und Schutzmaßnahmen unterliegen —

HABEN FOLGENDE RICHTLINIE ERLASSEN:

KAPITEL I

ALLGEMEINE BESTIMMUNGEN

Artikel 1

Gegenstand und Geltungsbereich

(1) Mit dieser Richtlinie, der 20. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG, werden Mindestanforderungen für den Schutz der Arbeitnehmer gegen tatsächliche oder mögliche Gefährdungen ihrer Gesundheit und Sicherheit durch Einwirkung von elektromagnetischen Feldern während ihrer Arbeit festgelegt.

(2) Diese Richtlinie umfasst alle bekannten direkten biophysikalischen Wirkungen und indirekten Auswirkungen, die durch elektromagnetische Felder hervorgerufen werden.

(3) Die in dieser Richtlinie festgelegten Expositionsgrenzwerte betreffen nur die wissenschaftlich nachgewiesenen Zusammenhänge zwischen direkten biophysikalischen Kurzzeitwirkungen und der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern.

(4) Diese Richtlinie umfasst nicht die vermuteten Langzeitwirkungen.

Die Kommission verfolgt laufend die neuesten wissenschaftlichen Entwicklungen. Die Kommission prüft eine angemessene politische Reaktion, gegebenenfalls einschließlich der Vorlage eines Vorschlags für einen Rechtsakt, um derartigen Wirkungen zu begegnen, wenn gesicherte wissenschaftliche Nachweise für vermutete Langzeitwirkungen verfügbar werden. Über ihren Bericht nach Artikel 15 hält die Kommission das Europäische Parlament und den Rat diesbezüglich auf dem Laufenden.

(5) Diese Richtlinie betrifft nicht die Gefährdungen durch das Berühren von unter Spannung stehenden Leitern.

(6) Die Richtlinie 89/391/EWG findet unbeschadet strengerer oder spezifischerer Bestimmungen der vorliegenden Richtlinie für den gesamten in Absatz 1 genannten Bereich weiterhin in vollem Umfang Anwendung.

Artikel 2

Begriffsbestimmungen

Für die Zwecke dieser Richtlinie bezeichnet der Ausdruck

- a) „elektromagnetische Felder“ statische elektrische, statische magnetische sowie zeitvariable elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder mit Frequenzen bis 300 GHz;

⁽¹⁾ ABl. C 218 vom 13.9.2003, S. 1.

⁽²⁾ ABl. C 369 vom 17.12.2011, S. 14.

- b) „direkte biophysikalische Wirkungen“ die Wirkungen, die im menschlichen Körper durch dessen Anwesenheit in einem elektromagnetischen Feld unmittelbar hervorgerufen werden, einschließlich
- i) thermische Wirkungen, wie etwa Gewebeerwärmung durch Energieabsorption aus elektromagnetischen Feldern im Gewebe,
 - ii) nichtthermische Wirkungen, wie etwa die Stimulation von Muskeln, Nerven oder Sinnesorganen. Diese Wirkungen können die mentale und körperliche Gesundheit exponierter Arbeitnehmer nachteilig beeinflussen. Ferner kann die Stimulation von Sinnesorganen zu vorübergehenden Symptomen wie Schwindelgefühl oder Phosphenen führen. Diese Wirkungen können eine zeitlich befristete Belästigung verursachen oder das Wahrnehmungsvermögen oder andere Hirn- oder Muskelfunktionen beeinflussen und damit die Fähigkeit von Arbeitnehmern beeinträchtigen, sicher zu arbeiten (das heißt Sicherheitsrisiken), und
 - iii) Ströme durch die Gliedmaßen;
- c) „indirekte Auswirkungen“ durch das Vorhandensein eines Gegenstands in einem elektromagnetischen Feld ausgelöste Wirkungen, die eine Gefahr für Sicherheit oder Gesundheit hervorrufen können, wie etwa
- i) Störungen bei elektronischen medizinischen Vorrichtungen und Geräten, einschließlich Herzschrittmachern und anderen implantierten oder am Körper getragenen medizinischen Geräten;
 - ii) Verletzungsrisiko durch die Projektilwirkung ferromagnetischer Gegenstände in statischen Magnetfeldern;
 - iii) Auslösung von elektrischen Zündvorrichtungen (Detonatoren);
 - iv) Brände und Explosionen, verursacht durch die Entzündung von entzündlichen Materialien durch Funkenbildung aufgrund von induzierten Feldern, Kontaktströmen oder Funkenentladungen; und
 - v) Kontaktströme;
- d) „Expositionsgrenzwerte“ Werte, die auf der Grundlage biophysikalischer und biologischer Erwägungen festgelegt wurden, insbesondere auf der Grundlage wissenschaftlich nachgewiesener kurzzeitiger und akuter Wirkungen, also thermischer Wirkungen und elektrischer Stimulation von Gewebe;
- e) „Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen“ diejenigen Expositionsgrenzwerte, bei deren Überschreitung Arbeitnehmer gesundheitsschädlichen Wirkungen wie etwa thermischer Erwärmung oder der Stimulation von Nerven- und Muskelgewebe ausgesetzt sein können;
- f) „Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen“ diejenigen Expositionsgrenzwerte, deren Überschreitung vorübergehende Störungen der Sinnesempfindungen von Arbeitnehmern und geringfügige Veränderungen ihrer Hirnfunktionen hervorrufen kann;

- g) „Auslöseschwellen“ operative Werte, die festgelegt wurden, damit einfacher nachgewiesen werden kann, dass die relevanten Expositionsgrenzwerte eingehalten werden, oder damit gegebenenfalls die in dieser Richtlinie festgelegten relevanten Schutz- oder Präventionsmaßnahmen ergriffen werden.

In Anhang II werden im Zusammenhang mit Auslöseschwellen folgende Begriffe verwendet:

- i) Bei elektrischen Feldern bezeichnen die Ausdrücke „niedrige Auslösewerte“ und „hohe Auslöseschwellen“ die Werte, die sich auf die in dieser Richtlinie festgelegten spezifischen Schutz- oder Präventionsmaßnahmen beziehen, und
- ii) bei magnetischen Feldern bezeichnen der Ausdruck „niedrige Auslöseschwellen“ die auf die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen bezogenen Werte und der Ausdruck „hohe Auslöseschwellen“ die auf die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen bezogenen Werte.

Artikel 3

Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen

(1) Die physikalischen Größen im Zusammenhang mit der Einwirkung von elektromagnetischen Feldern sind in Anhang I aufgeführt. Die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche und sensorische Wirkungen und die Auslöseschwellen sind in den Anhängen II und III festgelegt.

(2) Die Mitgliedstaaten schreiben vor, dass die Arbeitgeber dafür sorgen, dass die Exposition der Arbeitnehmer gegenüber elektromagnetischen Feldern für nichtthermische Wirkungen auf die in Anhang II aufgeführten Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen und für sensorische Wirkungen und für thermische Wirkungen auf die in Anhang III aufgeführten Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen und für sensorische Wirkungen begrenzt wird. Die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen und für sensorische Wirkungen wird durch Anwendung der relevanten Expositionsbewertungsverfahren nach Artikel 4 bestimmt. Übersteigt die Exposition der Arbeitnehmer gegenüber elektromagnetischen Feldern die Expositionsgrenzwerte, so ergreift der Arbeitgeber unverzüglich Maßnahmen gemäß Artikel 5 Absatz 8.

(3) Wird nachgewiesen, dass die relevanten Auslöseschwellen gemäß den Anhängen II und III nicht überschritten werden, so gilt dies für die Zwecke dieser Richtlinie als Einhaltung der Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen und für sensorische Wirkungen durch den Arbeitgeber. Überschreitet die Exposition die Auslöseschwellen, so ergreift der Arbeitgeber Maßnahmen nach Artikel 5 Absatz 2, es sei denn, die nach Artikel 4 Absätze 1, 2 und 3 durchgeführte Überprüfung erbringt den Nachweis, dass die relevanten Expositionsgrenzwerte nicht überschritten werden und Sicherheitsrisiken ausgeschlossen werden können.

Ungeachtet des Unterabsatzes 1 kann die Exposition folgende Werte überschreiten:

- a) die niedrigen Auslöseschwellen für elektrische Felder (Anhang II Tabelle B1), wenn dies aus praxis- oder verfahrensbedingten Gründen gerechtfertigt ist, sofern entweder die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen (Anhang II Tabelle A3) nicht überschritten werden oder
- i) die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen (Anhang II Tabelle A2) nicht überschritten werden;

- ii) übermäßige Funkenentladungen und Kontaktströme (Anhang II Tabelle B3) durch spezifische Schutzmaßnahmen im Sinne des Artikels 5 Absatz 6 verhindert werden und
 - iii) die Arbeitnehmer über die in Artikel 6 Buchstabe f genannten Situationen unterrichtet wurden;
- b) die niedrigen Auslöseschwellen für magnetische Felder (Anhang II Tabelle B2), wenn dies aus praxis- oder verfahrensbedingten Gründen gerechtfertigt ist, und zwar einschließlich im Kopf- und Rumpfbereich, während der Arbeitszeit, sofern entweder die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen (Anhang II Tabelle A3) nicht überschritten werden oder
- i) die Überschreitung der Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen nur vorübergehender Natur ist;
 - ii) die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen (Anhang II Tabelle A2) nicht überschritten werden;
 - iii) Maßnahmen gemäß Artikel 5 Absatz 9 ergriffen werden, wenn vorübergehende Symptome nach Buchstabe a des genannten Absatzes auftreten, und
 - iv) die Arbeitnehmer über die in Artikel 6 Buchstabe f genannten Situationen unterrichtet wurden.
- (4) Ungeachtet der Absätze 2 und 3 kann die Exposition folgende Werte überschreiten:
- a) die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen (Anhang II Tabelle A1) während der Arbeitszeit, wenn dies aus praxis- oder verfahrensbedingten Gründen gerechtfertigt ist, sofern
 - i) ihre Überschreitung nur vorübergehender Natur ist;
 - ii) die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen (Anhang II Tabelle A1) nicht überschritten werden;
 - iii) spezifische Schutzmaßnahmen gemäß Artikel 5 Absatz 7 ergriffen wurden;
 - iv) Maßnahmen gemäß Artikel 5 Absatz 9 ergriffen werden, wenn vorübergehende Symptome nach Buchstabe b des genannten Absatzes auftreten, und
 - v) die Arbeitnehmer über die in Artikel 6 Buchstabe f genannten Situationen unterrichtet wurden;
 - b) die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen (Anhang II Tabelle A3 und Anhang III Tabelle A2) während der Arbeitszeit, wenn dies aus praxis- oder verfahrensbedingten Gründen gerechtfertigt ist, sofern
 - i) ihre Überschreitung nur vorübergehender Natur ist;
 - ii) die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen (Anhang II Tabelle A2 und Anhang III Tabelle A1 und Tabelle A3) nicht überschritten werden;
 - iii) Maßnahmen gemäß Artikel 5 Absatz 9 ergriffen werden, wenn vorübergehende Symptome nach Buchstabe a des genannten Absatzes auftreten, und
 - iv) die Arbeitnehmer über die in Artikel 6 Buchstabe f genannten Situationen unterrichtet wurden.

KAPITEL II

PFLICHTEN DER ARBEITGEBER

Artikel 4

Bewertung der Risiken und Ermittlung der Exposition

(1) Im Rahmen seiner Pflichten gemäß Artikel 6 Absatz 3 und Artikel 9 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG nimmt der Arbeitgeber eine Bewertung sämtlicher Risiken für die Arbeitnehmer, die durch elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz hervorgerufen werden, und erforderlichenfalls eine Messung oder Berechnung der elektromagnetischen Felder vor, denen die Arbeitnehmer ausgesetzt sind.

Unbeschadet des Artikels 10 der Richtlinie 89/391/EWG und des Artikels 6 dieser Richtlinie kann diese Bewertung auf Anfrage im Einklang mit den einschlägigen Rechtsvorschriften der Union und der Mitgliedstaaten öffentlich gemacht werden. Werden im Zuge einer derartigen Bewertung personenbezogene Daten von Arbeitnehmern verarbeitet, so muss jede Veröffentlichung insbesondere die Bestimmungen der Richtlinie 95/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. Oktober 1995 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten und zum freien Datenverkehr⁽¹⁾ und der nationalen Rechtsvorschriften jener Mitgliedstaaten, die diese Richtlinie umsetzen, erfüllen. Sofern kein überwiegendes öffentliches Interesse an einer Offenlegung besteht, können öffentliche Stellen, die im Besitz einer Ausfertigung der Bewertung sind, einen Antrag auf Zugang zu der Bewertung oder einen Antrag auf Veröffentlichung der Bewertung verweigern, wenn die Offenlegung den Schutz der wirtschaftlichen Interessen des Arbeitgebers, einschließlich derjenigen, die das geistige Eigentum betreffen, beeinträchtigen würde. Arbeitgeber können sich unter denselben Bedingungen im Einklang mit den einschlägigen Rechtsvorschriften der Union und der Mitgliedstaaten weigern, die Bewertung offenzulegen oder öffentlich zu machen.

(2) Für die Zwecke der Bewertung nach Absatz 1 dieses Artikels ermittelt und bewertet der Arbeitgeber elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz und berücksichtigt dabei den in Artikel 14 genannten Leitfaden und sonstige relevante Normen oder Leitlinien des betreffenden Mitgliedstaats, einschließlich expositionsbezogener Datenbanken. Ungeachtet der in diesem Artikel genannten Pflichten der Arbeitgeber ist der Arbeitgeber auch berechtigt, gegebenenfalls die von den Geräteherstellern oder -verteilern gemäß Unionsrecht für die Geräte angegebenen Emissionswerte und andere geeignete sicherheitsbezogene Daten zu berücksichtigen, einschließlich einer Risikobewertung, wenn diese auf die Expositionsbedingungen am Arbeitsplatz oder Aufstellungsort anwendbar sind.

(3) Ist es nicht möglich, die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte aufgrund von leicht zugänglichen Informationen zuverlässig zu bestimmen, wird die Exposition anhand von Messungen oder Berechnungen bewertet. In diesem Fall werden bei der Bewertung die gemäß einschlägiger bewährter Verfahren ermittelten Mess- oder Berechnungsunsicherheiten berücksichtigt, wie zum Beispiel numerische Fehler, Quellenmodellierung, Phantomgeometrie und die elektrische Eigenschaften von Geweben und Werkstoffen.

⁽¹⁾ ABl. L 281 vom 23.11.1995, S. 31.

(4) Die in den Absätzen 1, 2 und 3 dieses Artikels genannten Bewertungen, Messungen und Berechnungen werden von fachkundigen Diensten oder Personen in angemessenen Zeitabständen geplant und durchgeführt, wobei die Anleitungen dieser Richtlinie und insbesondere die Artikel 7 und 11 der Richtlinie 89/391/EWG hinsichtlich der erforderlichen entsprechend befähigten Dienste oder Personen sowie der Anhörung und Beteiligung der Arbeitnehmer zu berücksichtigen sind. Die aus den Bewertungen, Messungen oder Berechnungen der Exposition resultierenden Daten werden in einer geeigneten, rückverfolgbaren Form gespeichert, so dass eine spätere Einsichtnahme gemäß den innerstaatlichen Rechtsvorschriften und Praktiken möglich ist.

(5) Bei der Risikobewertung berücksichtigt der Arbeitgeber gemäß Artikel 6 Absatz 3 der Richtlinie 89/391/EWG insbesondere Folgendes:

- a) die in Artikel 3 und den Anhängen II und III dieser Richtlinie genannten Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche und sensorische Wirkungen und Auslöseschwellen;
- b) Frequenz, Ausmaß, Dauer und Art der Exposition, einschließlich der Verteilung über den Körper des Arbeitnehmers und über den Raum des Arbeitsplatzes;
- c) alle direkten biophysikalischen Wirkungen;
- d) alle Auswirkungen auf die Gesundheit und Sicherheit besonders gefährdeter Arbeitnehmer, insbesondere der Arbeitnehmer, die aktive oder passive implantierte medizinische Geräte tragen, etwa Herzschrittmacher, der Arbeitnehmer, die medizinische Geräte am Körper tragen, etwa Insulinpumpen, sowie schwangerer Arbeitnehmerinnen;
- e) alle indirekten Auswirkungen;
- f) Verfügbarkeit von Ersatzausrüstungen, die so ausgelegt sind, dass das Ausmaß der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern verringert wird;
- g) einschlägige Informationen auf der Grundlage der in Artikel 8 genannten Gesundheitsüberwachung;
- h) vom Gerätehersteller bereitgestellte Informationen;
- i) weitere relevante gesundheits- und sicherheitsbezogene Informationen;
- j) Exposition gegenüber Mehrfachquellen;
- k) gleichzeitige Exposition gegenüber Feldern mit mehreren Frequenzen.

(6) An öffentlich zugänglichen Arbeitsplätzen ist es nicht erforderlich, die Expositionsbewertung durchzuführen, wenn bereits eine Bewertung gemäß den Vorschriften zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern erfolgt ist, wenn die in diesen Vorschriften festgelegten Grenzwerte in Bezug auf die Arbeitnehmer eingehalten werden und wenn Sicherheits- und Gesundheitsrisiken ausgeschlossen sind. Werden Arbeitsmittel, die zur Benutzung durch die Allgemeinheit bestimmt sind und Unionsrecht zu Produkten entsprechen, die ein höheres Sicherheitsniveau vorschreiben als die vorliegende Richtlinie, bestimmungsgemäß für die Allgemeinheit verwendet, und werden keinen anderen Arbeitsmittel verwendet, gelten diese Bedingungen als erfüllt.

(7) Der Arbeitgeber muss im Besitz einer Risikobewertung gemäß Artikel 9 Absatz 1 Buchstabe a der Richtlinie 89/391/EWG sein und ermitteln, welche Maßnahmen gemäß Artikel 5 der vorliegenden Richtlinie zu treffen sind. Die Risikobewertung kann eine Begründung des Arbeitgebers einschließen, warum eine detailliertere Risikobewertung aufgrund der Art und des Umfangs der Risiken im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern nicht erforderlich ist. Die Risikobewertung ist regelmäßig zu aktualisieren, insbesondere wenn bedeutsame Veränderungen eingetreten sind, so dass sie veraltet sein könnte, oder falls sich eine Aktualisierung aufgrund der Ergebnisse der in Artikel 8 genannten Gesundheitsüberwachung als erforderlich erweist.

Artikel 5

Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Risiken

(1) Unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts und der Verfügbarkeit von Mitteln zur Begrenzung der Erzeugung von elektromagnetischen Feldern am Entstehungsort ergreift der Arbeitgeber die notwendigen Maßnahmen, um sicherzustellen, dass die Gefährdung durch elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz ausgeschlossen oder auf ein Mindestmaß reduziert wird.

Die Verringerung der Gefährdung durch Einwirkung von elektromagnetischen Feldern stützt sich auf die in Artikel 6 Absatz 2 der Richtlinie 89/391/EWG festgelegten allgemeinen Grundsätze der Gefahrenverhütung.

(2) Werden die in Artikel 3 sowie in den Anhängen II und III genannten relevanten Auslöseschwellen überschritten und erbringt die nach Artikel 4 Absätze 1, 2 und 3 durchgeführte Überprüfung nicht den Nachweis, dass die relevanten Expositionsgrenzwerte nicht überschritten werden und dass Sicherheitsrisiken ausgeschlossen werden können, erarbeitet und realisiert der Arbeitgeber auf der Grundlage der in Artikel 4 genannten Risikobewertung einen Aktionsplan, der technische und/oder organisatorische Maßnahmen zur Vermeidung einer die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche und sensorische Wirkungen überschreitenden Exposition enthält, wobei er insbesondere Folgendes berücksichtigt:

- a) alternative Arbeitsverfahren, die die Notwendigkeit einer Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern verringern;
- b) die Auswahl von Arbeitsmitteln, die weniger starke elektromagnetische Felder emittieren, unter Berücksichtigung der auszuführenden Arbeit;
- c) technische Maßnahmen zur Verringerung der Emission von elektromagnetischen Feldern, erforderlichenfalls auch unter Einsatz von Verriegelungseinrichtungen, Abschirmungen oder vergleichbaren Gesundheitsschutzvorrichtungen;
- d) angemessene Abgrenzungs- und Zugangskontrollmaßnahmen, wie zum Beispiel Signale, Aufschriften, Bodenmarkierungen, Schranken, zur Zugangsbeschränkung oder -kontrolle;
- e) im Falle der Exposition gegenüber elektrischen Feldern: Maßnahmen und Verfahren zur Beherrschung von Funkenentladungen und Kontaktströmen durch technische Mittel und durch Unterweisung der Arbeitnehmer;

- f) angemessene Wartungspläne für Arbeitsmittel, Arbeitsplätze und Arbeitsplatzsysteme;
- g) Gestaltung und Auslegung der Arbeitsstätten und Arbeitsplätze;
- h) Begrenzung von Dauer und Intensität der Exposition; und
- i) Verfügbarkeit angemessener persönlicher Schutzausrüstung.

(3) Auf der Grundlage der in Artikel 4 genannten Risikobewertung erarbeitet und realisiert der Arbeitgeber einen Aktionsplan, der technische und/oder organisatorische Maßnahmen zur Verhinderung aller Risiken für besonders gefährdete Arbeitnehmer und aller Risiken aufgrund indirekter Auswirkungen, die in Artikel 4 genannt sind, enthält.

(4) Zusätzlich zur Unterrichtung gemäß Artikel 6 dieser Richtlinie passt der Arbeitgeber gemäß Artikel 15 der Richtlinie 89/391/EWG die im vorliegenden Artikel genannten Maßnahmen je nach Bedarf an die Erfordernisse der besonders gefährdeten Arbeitnehmer und gegebenenfalls an die individuellen Risikobewertungen an, insbesondere für Arbeitnehmer, die erklärt haben, dass sie ein aktives oder passives implantiertes medizinisches Gerät tragen, wie einen Herzschrittmacher, oder ein am Körper getragenes medizinisches Gerät verwenden, wie eine Insulinpumpe, oder für schwangere Arbeitnehmerinnen, die den Arbeitgeber von ihrer Schwangerschaft in Kenntnis gesetzt haben.

(5) Auf der Grundlage der in Artikel 4 genannten Risikobewertung werden Arbeitsplätze, an denen Arbeitnehmer voraussichtlich elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sein werden, die die Auslöseschwellen überschreiten, mit einer geeigneten Kennzeichnung gemäß den Anhängen II und III sowie der Richtlinie 92/58/EWG des Rates vom 24. Juni 1992 über Mindestvorschriften für die Sicherheits- und/oder Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz (Neunte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) ⁽¹⁾ versehen. Die betreffenden Bereiche werden abgegrenzt und der Zugang zu ihnen wird gegebenenfalls eingeschränkt. Ist der Zugang zu diesen Bereichen aus anderen Gründen auf geeignete Weise eingeschränkt und sind die Arbeitnehmer über die Risiken aufgrund elektromagnetischer Felder unterrichtet, so sind speziell auf elektromagnetische Felder ausgerichtete Kennzeichnungen und Zugangsbeschränkungen nicht erforderlich.

(6) Ist Artikel 3 Absatz 3 Buchstabe a anwendbar, so werden spezifische Schutzmaßnahmen getroffen, wie zum Beispiel die Unterweisung der Arbeitnehmer gemäß Artikel 6 und die Verwendung technischer Mittel und persönlicher Schutzausrüstung, einschließlich der Erdung von Arbeitsgegenständen, den Schutz des Arbeitnehmers gegen elektrischen Schlag (Potentialausgleich) und gegebenenfalls gemäß Artikel 4 Absatz 1 Buchstabe a der Richtlinie 89/656/EWG des Rates vom 30. November 1989 über Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen durch Arbeitnehmer bei der Arbeit (Dritte Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) ⁽²⁾ die Verwendung von isolierenden Schuhen und Isolierhandschuhen sowie von Schutzkleidung.

⁽¹⁾ ABL L 245 vom 26.8.1992, S. 23.

⁽²⁾ ABL L 393 vom 30.12.1989, S. 18.

(7) Ist Artikel 3 Absatz 3a Buchstabe a anwendbar, so werden spezifische Schutzmaßnahmen, wie zum Beispiel eine Kontrolle der Bewegungen, ergriffen.

(8) Die Exposition der Arbeitnehmer darf die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche und sensorische Wirkungen nicht überschreiten, es sei denn, die Bedingungen entweder gemäß Artikel 10 Buchstabe a oder c oder gemäß Artikel 3 Absatz 3 oder Artikel 3 Absatz 4 sind erfüllt. Werden die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen und für sensorische Wirkungen trotz der vom Arbeitgeber durchgeführten Maßnahmen überschritten, so trifft der Arbeitgeber unverzüglich Maßnahmen, um die Exposition auf einen Wert unterhalb der Expositionsgrenzwerte zu senken. Der Arbeitgeber ermittelt und erfasst, warum die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen und für sensorische Wirkungen überschritten wurden, und passt die Schutz- und Präventionsmaßnahmen entsprechend an, um ein erneutes Überschreiten der Grenzwerte zu vermeiden. Die geänderten Schutz- und Präventionsmaßnahmen werden in einer geeigneten, rückverfolgbaren Form gespeichert, so dass eine spätere Einsichtnahme gemäß den nationalen Rechtsvorschriften und Praktiken möglich ist.

(9) Ist Artikel 3 Absätze 3 und 4 anwendbar und meldet der Arbeitnehmer das Auftreten von vorübergehenden Symptomen, so aktualisiert der Arbeitgeber erforderlichenfalls die Risikobewertung und die Präventionsmaßnahmen. Vorübergehende Symptome können Folgendes umfassen:

- a) Sinnesempfindungen und Wirkungen auf die Funktion des im Kopf gelegenen Teils des Zentralnervensystems, die durch zeitvariable magnetische Felder hervorgerufen werden, und
- b) durch statische Magnetfelder hervorgerufenen Wirkungen, wie etwa Schwindel oder Übelkeit.

Artikel 6

Unterrichtung und Unterweisung der Arbeitnehmer

Unbeschadet der Artikel 10 und 12 der Richtlinie 89/391/EWG stellt der Arbeitgeber sicher, dass die Arbeitnehmer, die wahrscheinlich einer Gefährdung durch elektromagnetische Felder bei der Arbeit ausgesetzt sind, und/oder ihre Vertreter alle erforderlichen Informationen und Unterweisungen im Zusammenhang mit dem Ergebnis der Risikobewertung nach Artikel 4 der vorliegenden Richtlinie erhalten, die sich insbesondere auf Folgendes erstrecken:

- a) aufgrund der Anwendung dieser Richtlinie ergriffene Maßnahmen;
- b) die Werte und Konzepte der Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen, die damit zusammenhängende Gefährdung und die getroffenen Präventionsmaßnahmen;
- c) die möglichen indirekten Wirkungen einer Exposition;
- d) die Ergebnisse der Bewertungen, Messungen und/oder Berechnungen der Expositionsniveaus gegenüber elektromagnetischen Feldern gemäß Artikel 4 dieser Richtlinie;
- e) wie gesundheitsschädliche Wirkungen einer Exposition zu erkennen und wie sie zu melden sind;
- f) möglicherweise auftretende vorübergehende Symptome und Empfindungen, die mit Wirkungen im zentralen oder peripheren Nervensystem verknüpft sind;

- g) Voraussetzungen, unter denen die Arbeitnehmer Anspruch auf eine Gesundheitsüberwachung haben;
- h) sichere Arbeitsverfahren zur Minimierung der Gefährdung aufgrund der Exposition;
- i) besonders gefährdete Arbeitnehmer im Sinne von Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe d und Artikel 5 Absätze 3 und 4 dieser Richtlinie.

Artikel 7

Anhörung und Beteiligung der Arbeitnehmer

Die Anhörung und Beteiligung der Arbeitnehmer und/oder ihrer Vertreter erfolgt gemäß Artikel 11 der Richtlinie 89/391/EWG.

KAPITEL III

SONSTIGE BESTIMMUNGEN

Artikel 8

Gesundheitsüberwachung

(1) Im Interesse der Prävention und Früherkennung jeglicher gesundheitsschädlicher Wirkungen aufgrund der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern wird gemäß Artikel 14 der Richtlinie 89/391/EWG eine angemessene Gesundheitsüberwachung durchgeführt. Gesundheitsakten und ihrer Verfügbarkeit werden im Einklang mit den innerstaatlichen Rechtsvorschriften und/oder Praktiken sichergestellt.

(2) Im Einklang mit den innerstaatlichen Rechtsvorschriften und Praktiken werden die Ergebnisse der Gesundheitsüberwachung in einer geeigneten Form aufbewahrt, so dass eine spätere Einsichtnahme möglich ist, wenn Vertraulichkeitsanforderungen eingehalten werden. Die einzelnen Arbeitnehmer haben auf Verlangen Zugang zu ihrer Gesundheitsakte.

Werden von einem Arbeitnehmer unerwünschte oder unerwartete gesundheitliche Auswirkungen gemeldet oder in allen Fällen, in denen eine Exposition über den Expositionsgrenzwerten festgestellt wird, stellt der Arbeitgeber sicher, dass dem betroffenen Arbeitnehmer im Einklang mit den nationalen Rechtsvorschriften und Praktiken eine angemessene ärztliche Untersuchung oder persönliche medizinische Überwachung zugute kommt.

Eine derartige Untersuchung oder Überwachung wird zu einer vom Arbeitnehmer gewählten Zeit zur Verfügung gestellt, und sämtliche damit verbundenen Kosten werden nicht vom Arbeitnehmer getragen.

Artikel 9

Sanktionen

Die Mitgliedstaaten sehen angemessene Sanktionen vor, die bei einem Verstoß gegen die aufgrund dieser Richtlinie erlassenen nationalen Rechtsvorschriften zu verhängen sind. Die Sanktionen müssen wirksam, verhältnismäßig und abschreckend sein.

Artikel 10

Ausnahmen

(1) Abweichend von Artikel 3, aber unbeschadet des Artikels 5 Absatz 1 gilt Folgendes:

- a) die Expositionsgrenzwerte können überschritten werden, wenn die Exposition mit der Aufstellung, Prüfung, Anwendung, Entwicklung und Wartung von Geräten für bildgebende Verfahren mittels Magnetresonanz für Patienten im Gesundheitswesen oder damit verknüpften Forschungsarbeiten in Zusammenhang steht, sofern alle folgenden Voraussetzungen erfüllt sind:
 - i) Die nach Artikel 4 durchgeführte Risikobewertung hat gezeigt, dass die Expositionsgrenzwerte überschritten werden,
 - ii) nach dem Stand der Technik sind alle technischen und/oder organisatorischen Maßnahmen durchgeführt worden,
 - iii) die Umstände rechtfertigen hinreichend eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte,
 - iv) die spezifischen Merkmale des Arbeitsplatzes, der Arbeitsmittel oder der Arbeitsmethoden wurden berücksichtigt, und
 - v) der Arbeitgeber weist nach, dass die Arbeitnehmer weiterhin vor gesundheitsschädlichen Wirkungen und Sicherheitsrisiken geschützt sind, unter anderem, indem er sicherstellt, dass die Anleitungen für die sichere Verwendung, die der Hersteller gemäß der Richtlinie 93/42/EWG des Rates vom 14. Juni 1993 über Medizinprodukte⁽¹⁾ bereitgestellt hat, eingehalten werden;
- b) Die Mitgliedstaaten können gestatten, dass ein gleichwertiges oder spezifischeres Schutzsystem für das Personal angewandt wird, das in operativen militärischen Einrichtungen beschäftigt oder an militärischen Aktivitäten beteiligt ist, einschließlich gemeinsamer internationaler militärischer Übungen, sofern gesundheitsschädliche Wirkungen und Sicherheitsrisiken vermieden werden.
- c) Die Mitgliedstaaten können unter hinreichend begründeten Umständen und nur so lange, wie diese hinreichenden Gründe bestehen, gestatten, dass die Expositionsgrenzwerte in bestimmten Sektoren oder für bestimmte Tätigkeiten, die außerhalb des Anwendungsbereichs der Buchstaben a und b liegen, zeitweilig überschritten werden. Im Sinne dieses Buchstabens bezeichnet der Ausdruck „hinreichend begründete Umstände“ Umstände, bei denen folgende Voraussetzungen erfüllt sind:
 - i) Die nach Artikel 4 durchgeführte Risikobewertung hat ergeben, dass die Expositionsgrenzwerte überschritten werden,
 - ii) nach dem Stand der Technik sind alle technischen und/oder organisatorischen Maßnahmen durchgeführt worden,
 - iii) die spezifischen Merkmale des Arbeitsplatzes, der Arbeitsmittel oder der Arbeitsmethoden wurden berücksichtigt, und
 - iv) der Arbeitgeber weist nach, dass die Arbeitnehmer weiterhin vor gesundheitsschädlichen Wirkungen und Sicherheitsrisiken geschützt sind, hierzu gehört auch die Anwendung vergleichbarer, spezifischerer und international anerkannter Normen und Leitlinien.

⁽¹⁾ ABl. L 169 vom 12.7.1993, S. 1.

(2) Die Mitgliedstaaten unterrichten die Kommission in dem Bericht nach Artikel 15 über alle Abweichungen gemäß Absatz 1 Buchstaben b und c und über die Gründe, die sie rechtfertigen.

Artikel 11

Technische Änderungen der Anhänge

(1) Der Kommission wird die Befugnis übertragen, gemäß Artikel 12 delegierte Rechtsakte zu erlassen, um rein technische Änderungen der Anhänge vorzunehmen, die dazu dienen,

- a) den zur technischen Harmonisierung und Normung im Bereich von Auslegung, Bau, Herstellung oder Konstruktion von Arbeitsmitteln und/oder Arbeitsstätten erlassenen Verordnungen und Richtlinien Rechnung zu tragen;
- b) dem technischen Fortschritt, der Entwicklung der am besten geeigneten Normen oder Spezifikationen und neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen auf dem Gebiet der elektromagnetischen Felder Rechnung zu tragen;
- c) die Auslöseschwellen anzupassen, wenn neue wissenschaftliche Erkenntnisse vorliegen, sofern die Arbeitgeber weiterhin an die in den Anhängen II und III festgelegten bestehenden Expositionsgrenzwerte gebunden sind.

(2) Der Kommission wird die Befugnis übertragen, gemäß Artikel 12 einen delegierten Rechtsakt zu erlassen, um in Anhang II die ICNIRP Leitlinien zur Begrenzung der Exposition gegenüber elektrischen Feldern, die durch die Bewegung des menschlichen Körpers in einem statischen magnetischen Feld sowie durch zeitlich variierende Magnetfelder von unter 1 Hz induziert werden, einzufügen, sobald sie verfügbar sind.

(3) Ist dies im Fall von Änderungen gemäß den Absätzen 1 und 2 aus Gründen äußerster Dringlichkeit erforderlich, so findet das Verfahren gemäß Artikel 13 auf delegierte Rechtsakte, die gemäß dem vorliegenden Artikel erlassen werden, Anwendung.

Artikel 12

Ausübung der Befugnisübertragung

(1) Die Befugnis zum Erlass delegierter Rechtsakte wird der Kommission unter den in diesem Artikel festgelegten Bedingungen übertragen.

(2) Die Befugnis zum Erlass delegierter Rechtsakte gemäß Artikel 11 wird der Kommission für einen Zeitraum von fünf Jahren ab dem 29. Juni 2013 übertragen. Die Kommission stellt spätestens neun Monate vor Ablauf des Zeitraums von fünf Jahren einen Bericht über die Befugnisübertragung. Die Befugnisübertragung verlängert sich stillschweigend um Zeiträume gleicher Länge, es sei denn, das Europäische Parlament oder der Rat widersprechen einer solchen Verlängerung spätestens drei Monate vor Ablauf des jeweiligen Zeitraums.

(3) Die Befugnisübertragung gemäß Artikel 11 kann vom Europäischen Parlament oder vom Rat jederzeit widerrufen werden. Der Beschluss über den Widerruf beendet die Übertragung der in diesem Beschluss angegebenen Befugnis. Er wird am Tag nach seiner Veröffentlichung im *Amtsblatt der Europäischen Union* oder zu einem im Beschluss über den Widerruf angegebenen späteren Zeitpunkt wirksam. Die Gültigkeit von delegierten

Rechtsakten, die bereits in Kraft sind, wird von dem Beschluss über den Widerruf nicht berührt.

(4) Sobald die Kommission einen delegierten Rechtsakt erlässt, übermittelt sie ihn gleichzeitig dem Europäischen Parlament und dem Rat.

(5) Ein delegierter Rechtsakt, der gemäß Artikel 11 erlassen wurde, tritt nur in Kraft, wenn weder das Europäische Parlament noch der Rat innerhalb einer Frist von zwei Monaten nach Übermittlung dieses Rechtsakts an das Europäische Parlament und den Rat Einwände erhoben haben oder wenn vor Ablauf dieser Frist das Europäische Parlament und der Rat beide der Kommission mitgeteilt haben, dass sie keine Einwände erheben werden. Auf Initiative des Europäischen Parlaments oder des Rates wird diese Frist um zwei Monate verlängert.

Artikel 13

Dringlichkeitsverfahren

(1) Delegierte Rechtsakte, die nach diesem Artikel erlassen werden, treten umgehend in Kraft und sind anwendbar, solange keine Einwände gemäß Absatz 2 erhoben werden. Bei der Übermittlung eines delegierten Rechtsakts an das Europäische Parlament und den Rat werden die Gründe für die Anwendung des Dringlichkeitsverfahrens, das im Zusammenhang mit der Gesundheit und dem Schutz der Arbeitnehmer steht, angegeben.

(2) Das Europäische Parlament oder der Rat können gemäß dem Verfahren des Artikels 12 Absatz 5 Einwände gegen einen delegierten Rechtsakt erheben. In diesem Fall hebt die Kommission den Rechtsakt umgehend nach der Übermittlung des Beschlusses des Europäischen Parlaments oder des Rates, Einwände zu erheben, auf.

KAPITEL IV

SCHLUSSBESTIMMUNGEN

Artikel 14

Leitfäden

Um die Durchführung dieser Richtlinie zu erleichtern stellt die Kommission spätestens sechs Monate vor dem 1. Juli 2016 nicht verbindliche Leitfäden bereit. Diese Leitfäden beziehen sich insbesondere auf die folgenden Punkte:

- a) Ermittlung der Exposition unter Berücksichtigung geeigneter europäischer oder internationaler Normen, einschließlich
 - Berechnungsmethoden für die Bewertung von Expositionsgrenzwerten,
 - der örtlichen Mittelung externer elektrischer und magnetischer Felder,
 - einer Anleitung für den Umgang mit Mess- und Berechnungsunsicherheiten;
- b) Anleitung für den Nachweis der Einhaltung der Vorschriften bei besonderen Formen ungleichmäßiger Exposition in bestimmten Situationen, gestützt auf fundierte dosimetrische Grundlagen;
- c) Beschreibung der „Methode gewichteter Spitzenwerte“ für niederfrequente Felder und der „Summation von multifrequenten Feldern“ für hochfrequente Felder;

- d) Durchführung der Risikobewertung und — wann immer möglich — Bereitstellung vereinfachter Methoden unter besonderer Berücksichtigung der Bedürfnisse von KMU;
- e) Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Risiken, einschließlich spezifischer Präventivmaßnahmen entsprechend dem Ausmaß der Exposition und den Merkmalen des Arbeitsplatzes;
- f) Festlegung dokumentierter Arbeitsverfahren sowie spezifischer Maßnahmen zur Unterrichtung und Unterweisung von Arbeitnehmern, die während der Ausübung von unter Artikel 10 Absatz 1 Buchstabe a fallenden Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Magnetresonanztomographie elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sind;
- g) Evaluierung von Expositionen im Frequenzbereich von 100 kHz bis 10 MHz, wenn sowohl thermische als auch nichtthermische Wirkungen zu berücksichtigen sind;
- h) Anleitung für die ärztlichen Untersuchungen und die medizinische Überwachung, für die der Arbeitgeber gemäß Artikel 8 Absatz 2 Sorge zu tragen hat.

Die Kommission arbeitet dabei eng mit dem Beratenden Ausschuss für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz zusammen. Das Europäische Parlament wird regelmäßig unterrichtet.

Artikel 15

Überprüfung und Bericht

Der Bericht über die praktische Durchführung dieser Richtlinie wird unter Berücksichtigung von Artikel 1 Absatz 4 gemäß Artikel 17a der Richtlinie 89/391/EWG erstellt.

Artikel 16

Umsetzung

- (1) Die Mitgliedstaaten setzen die erforderlichen Rechts- und Verwaltungsvorschriften in Kraft, um dieser Richtlinie bis zum 1. Juli 2016 nachzukommen.

Bei Erlass dieser Vorschriften nehmen die Mitgliedstaaten in den Vorschriften selbst oder durch einen Hinweis bei der amtlichen Veröffentlichung auf diese Richtlinie Bezug. Die Mitgliedstaaten legen die Einzelheiten der Bezugnahme fest.

- (2) Die Mitgliedstaaten teilen der Kommission den Wortlaut der wichtigsten innerstaatlichen Rechtsvorschriften mit, die sie auf dem unter diese Richtlinie fallenden Gebiet erlassen.

Artikel 17

Aufhebung

- (1) Die Richtlinie 2004/40/EG wird mit Wirkung vom 29. Juni 2013 aufgehoben.

- (2) Bezugnahmen auf die aufgehobene Richtlinie gelten als Bezugnahmen auf diese Richtlinie und sind nach Maßgabe der Entsprechungstabelle in Anhang V zu lesen.

Artikel 18

Inkrafttreten

Diese Richtlinie tritt am Tag ihrer Veröffentlichung im *Amtsblatt der Europäischen Union* in Kraft.

Artikel 19

Adressaten

Diese Richtlinie ist an die Mitgliedstaaten gerichtet.

Geschehen zu Brüssel am 26. Juni 2013.

*Im Namen des Europäischen
Parlaments*

Der Präsident
M. SCHULZ

Im Namen des Rates

Der Präsident
A. SHATTER

ANHANG I

PHYSIKALISCHE GRÖSSEN IM ZUSAMMENHANG MIT DER EXPOSITION GEGENÜBER ELEKTROMAGNETISCHEN FELDERN

Die folgenden physikalischen Größen werden zur Beschreibung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern verwendet:

Die elektrische Feldstärke (E) ist eine Vektorgröße, die der Kraft entspricht, die auf ein geladenes Teilchen ungeachtet seiner Bewegung im Raum ausgeübt wird. Sie wird ausgedrückt in Volt pro Meter (Vm^{-1}). Es muss zwischen der Feldstärke eines in der Umgebung auftretenden elektrischen Felds und der Feldstärke, wie sie im Körper (in situ) infolge einer Exposition gegenüber der Umgebungsfeldstärke auftritt, unterschieden werden.

Strom durch die Gliedmaßen (I_L) bezeichnet den Strom in den Gliedmaßen einer Person, die elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 10 MHz bis 100 MHz ausgesetzt ist infolge eines Kontakts mit einem Gegenstand in einem elektromagnetischen Feld oder infolge des Fließens kapazitiver Ströme, die in dem exponierten Körper induziert werden. Er wird in Ampere (A) ausgedrückt.

Kontaktstrom (I_C) bezeichnet einen Strom, der beim Kontakt einer Person mit einem Gegenstand in einem elektromagnetischen Feld fließt. Er wird in Ampere (A) ausgedrückt. Ein stationärer Kontaktstrom tritt bei einem kontinuierlichen Kontakt zwischen einer Person und einem Gegenstand in einem elektromagnetischen Feld auf. Im Augenblick der Herstellung eines solchen Kontakts kann es zu einer Funkenentladung mit entsprechenden transienten Strömen kommen.

Die elektrische Ladung (Q) ist die entsprechende Größe, die für Funkenentladungen verwendet und in Coulomb (C) ausgedrückt wird.

Die magnetische Feldstärke (H) ist eine Vektorgröße, die neben der magnetischen Flussdichte zur Beschreibung des magnetischen Feldes in jedem Raumpunkt dient. Sie wird in Ampere pro Meter (Am^{-1}) ausgedrückt.

Die magnetische Flussdichte (B) ist eine Vektorgröße, aus der sich eine Kraft auf bewegte Ladungen ergibt; sie wird in Tesla (T) ausgedrückt. Im leeren Raum und in biologischem Material können magnetische Flussdichte und magnetische Feldstärke anhand der Äquivalenz der magnetischen Feldstärke $H = 1 \text{ Am}^{-1}$ mit der magnetischen Flussdichte $B = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}$ (ungefähr 1,25 Mikrottesla) umgerechnet werden.

Die Leistungsdichte (S) ist die entsprechende Größe, die für sehr hohe Frequenzen benutzt wird, bei denen die Eindringtiefe in den Körper gering ist. Die Leistungsdichte ist der senkrecht zu einer Oberfläche auftreffende Energiefluss, geteilt durch die Fläche. Sie wird ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter (Wm^{-2}).

Die spezifische Energieabsorption (SA) ist die je Masseneinheit biologischen Gewebes absorbierte Energie; sie wird ausgedrückt in Joule pro Kilogramm (J/kg^{-1}). In dieser Richtlinie wird sie zur Festlegung von Grenzen für Wirkungen gepulster Mikrowellenstrahlung benutzt.

Die spezifische Energieabsorptionsrate (SAR), gemittelt über den ganzen Körper oder Teile davon, ist die Rate, mit der Energie je Masseneinheit des Körpergewebes absorbiert wird; sie wird ausgedrückt in Watt pro Kilogramm (Wkg^{-1}). Die Ganzkörper-SAR ist eine weithin akzeptierte Größe, um schädliche Wärmewirkungen zu einer Hochfrequenz-(HF)-Exposition in Beziehung zu setzen. Neben der mittleren Ganzkörper-SAR sind lokale SAR-Werte notwendig, um übermäßige Energiekonzentrationen in kleinen Körperbereichen infolge besonderer Expositionsbedingungen zu bewerten und zu begrenzen. Beispiele hierfür sind durch HF im niedrigen MHz-Bereich (wie sie beispielsweise von dielektrischen Erwärmungsgeräten abgegeben werden) exponierte und im Nahfeld einer Antenne exponierte Personen.

Von diesen Größen lassen sich magnetische Flussdichte (B), Kontaktstrom (I_C), Strom durch Gliedmaßen (I_L), elektrische Feldstärke (E), magnetische Feldstärke (H) sowie Leistungsdichte (S) direkt messen.

ANHANG II

NICHTTHERMISCHE WIRKUNGEN

EXPOSITIONSGRENZWERTE UND AUSLÖSESCHWELLEN IM FREQUENZBEREICH VON 0 Hz BIS 10 MHz

A. EXPOSITIONSGRENZWERTE

Expositionsgrenzwerte unter 1 Hz (Tabelle A1) sind Grenzwerte für statische Magnetfelder, die nicht durch das Körpergewebe beeinflusst werden.

Expositionsgrenzwerte für Frequenzen von 1 Hz bis zu 10 MHz (Tabelle A2) sind Grenzen für elektrische Felder, die im Körper infolge einer Exposition gegenüber zeitvariablen elektrischen und magnetischen Feldern induziert werden.

Expositionsgrenzwerte für eine externe magnetische Flussdichte von 0 bis zu 1 Hz

Die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen sind die Grenzwerte für normale Arbeitsbedingungen (Tabelle A1) und beziehen sich auf Schwindelgefühle und andere physiologische Symptome aufgrund einer Störung des Gleichgewichtsorgans, wie sie hauptsächlich dann auftritt, wenn Personen sich in einem statischen magnetischen Feld bewegen.

Die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen unter kontrollierten Arbeitsbedingungen (Tabelle A1) gelten befristet während der Arbeitszeit, wenn dies aus praxis- oder verfahrensbedingten Gründen gerechtfertigt ist, sofern Vorsorgemaßnahmen wie eine Kontrolle der Bewegungen und eine Unterrichtung der Arbeitnehmer festgelegt wurden.

Tabelle A1

Expositionsgrenzwerte für externe magnetische Flussdichte (B_0) bis zu 1 Hz

	Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen
Normale Arbeitsbedingungen	2 T
Lokale Exposition von Gliedmaßen	8 T
	Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen
Kontrollierte Arbeitsbedingungen	8 T

Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen bei internen elektrischen Feldstärken von 1 Hz bis 10 MHz

Die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen (Tabelle A2) beziehen sich auf die elektrische Stimulation des gesamten peripheren und autonomen Nervengewebes im Körper, einschließlich des Kopfes.

Tabelle A2

Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen bei internen elektrischen Feldstärken von 1 Hz bis 10 MHz

Frequenzbereich	Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen
$1 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$1,1 \text{ Vm}^{-1}$ (Spitzenwert)
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$3,8 \times 10^{-4} f \text{ Vm}^{-1}$ (Spitzenwert)

Anmerkung A2-1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung A2-2: Die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen bei internen elektrischen Feldern sind örtliche Spitzenwerte im gesamten Körper der exponierten Person.

Anmerkung A2-3: Die Expositionsgrenzwerte sind Spitzenwerte im Zeitverlauf und entsprechen bei sinusförmigen Feldern den mit einem Faktor von $\sqrt{2}$ multiplizierten Effektivwerten (RMS-Werten). Bei einem nicht sinusförmigen Feld basiert die gemäß Artikel 4 durchgeführte Expositionsberechnung auf der Methode gewichteter Spitzenwerte (Gewichtung im Zeitbereich), wie in den in Artikel 14 genannten Leitfäden dargelegt; es können aber auch andere wissenschaftlich nachgewiesene und validierte Expositionsberechnungsverfahren herangezogen werden, vorausgesetzt sie führen zu annähernd gleichwertigen und vergleichbaren Ergebnissen.

Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen bei internen elektrischen Feldstärken von 1 Hz bis 400 Hz

Die Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen (Tabelle A3) beziehen sich auf die Wirkungen elektrischer Felder auf das zentrale Nervensystem im Kopf, d. h. Phosphene der Netzhaut und geringfügige vorübergehende Veränderungen bestimmter Hirnfunktionen.

Tabelle A3

Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen bei internen elektrischen Feldstärken von 1 Hz bis 400 Hz

Frequenzbereich	Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen
$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	$0,7/f \text{ Vm}^{-1}$ (Spitzenwert)
$10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$0,07 \text{ Vm}^{-1}$ (Spitzenwert)
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$0,0028 f \text{ Vm}^{-1}$ (Spitzenwert)

Anmerkung A3-1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung A3-2: Die Expositionsgrenzwerte für interne elektrische Felder sind örtliche Spitzenwerte im Kopf der exponierten Person.

Anmerkung A3-3: Die Expositionsgrenzwerte sind Spitzenwerte im Zeitverlauf und entsprechen bei sinusförmigen Feldern den mit dem Faktor $\sqrt{2}$ multiplizierten Effektivwerten (RMS-Werten). Bei einem nicht sinusförmigen Feld basiert die gemäß Artikel 4 durchgeführte Expositionsberechnung auf der Methode gewichteter Spitzenwerte (Gewichtung im Zeitbereich), wie in den in Artikel 14 genannten Leitfäden dargelegt; es können aber auch andere wissenschaftlich nachgewiesene und validierte Expositionsberechnungsverfahren herangezogen werden, vorausgesetzt sie führen zu annähernd gleichwertigen und vergleichbaren Ergebnissen.

B. AUSLÖSESCHWELLEN

Die folgenden physikalischen Größen und Werte werden zur Angabe der Auslöseschwellen herangezogen, die festgelegt werden, damit mittels vereinfachter Bewertung sichergestellt werden kann, dass die einschlägigen Expositionsgrenzwerte eingehalten werden, oder um anzugeben, ab wann die relevanten Schutz- oder Präventivmaßnahmen gemäß Artikel 5 zu ergreifen sind:

- niedrige Auslöseschwelle (E) und hohe Auslöseschwelle (E) für die elektrische Feldstärke (E) von zeitvariablen elektrischen Feldern wie in Tabelle B1 angegeben;
- niedrige Auslöseschwelle (B) und hohe Auslöseschwelle (B) für die magnetische Flussdichte (B) von zeitvariablen magnetischen Feldern wie in Tabelle B2 angegeben;
- Auslöseschwelle (I_C) für den Kontaktstrom wie in Tabelle B3 angegeben;
- Auslöseschwelle (B_0) für die magnetische Flussdichte statischer magnetischer Felder wie in Tabelle B4 angegeben.

Die Auslöseschwellen entsprechen den am Arbeitsplatz in Abwesenheit des Arbeitnehmers berechneten oder gemessenen Werten von elektrischen und magnetischen Feldern.

Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber elektrischen Feldern

Die niedrigen Auslöseschwellen (vgl. Tabelle B1) für externe elektrische Felder basieren auf der Begrenzung des internen elektrischen Felds auf Werte unter den Expositionsgrenzwerten (vgl. Tabellen A2 und A3) und auf der Begrenzung von Funkenentladungen in die Arbeitsumwelt.

Bei Unterschreitung der hohen Auslöseschwellen überschreitet das interne elektrische Feld die Expositionsgrenzwerte (vgl. Tabellen A2 und A3) nicht, und störende Funkenentladungen werden vermieden, sofern die Schutzmaßnahmen nach Artikel 5 Absatz 6 ergriffen wurden.

Tabelle B1

Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber elektrischen Feldern von 1 Hz bis 10 MHz

Frequenzbereich	niedrige Auslöseschwelle für die elektrische Feldstärke (E) (Vm^{-1}) (RMS)	hohe Auslöseschwelle für die elektrische Feldstärke (E) (Vm^{-1}) (RMS)
$1 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \leq f < 50 \text{ Hz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$1,0 \times 10^6/f$

Frequenzbereich	niedrige Auslöseschwelle für die elektrische Feldstärke (E) (Vm^{-1}) (RMS)	hohe Auslöseschwelle für die elektrische Feldstärke (E) (Vm^{-1}) (RMS)
$1,64 \leq f < 3 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^5/f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

Anmerkung B1-1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung B1-2: Die niedrige Auslöseschwelle (E) und die hohe Auslöseschwelle (E) ergeben sich aus den Effektivwerten (quadratischer Mittelwert) der elektrischen Feldstärke; diese entsprechen bei sinusförmigen Feldern den Spitzenwerten geteilt durch $\sqrt{2}$. Bei nicht sinusförmigen Feldern basiert die gemäß Artikel 4 durchgeführte Expositionsrechnung auf der Methode gewichteter Spitzenwerte (Gewichtung im Zeitbereich), wie in den in Artikel 14 genannten Leitfäden dargelegt; es können aber auch andere wissenschaftlich nachgewiesene und validierte Expositionsrechnungsverfahren herangezogen werden, vorausgesetzt sie führen zu annähernd gleichwertigen und vergleichbaren Ergebnissen.

Anmerkung B1-3: Die Auslöseschwellen stellen die am Standort des Körpers des Arbeitnehmers berechneten oder gemessenen Höchstwerte dar. Dadurch ergibt sich für alle ungleichmäßigen Expositionsbedingungen eine konservative Bewertung der Exposition und die automatische Einhaltung der Expositionsgrenzwerte. Zur Vereinfachung der gemäß Artikel 4 durchzuführenden Bewertung der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte im Fall spezifischer ungleichmäßiger Bedingungen werden in den in Artikel 14 genannten Leitfäden Kriterien für die örtliche Mittelung der gemessenen Felder nach anerkannten Dosimetrieverfahren festgelegt. Bei einer räumlich stark begrenzten Quelle im Abstand von einigen Zentimetern von einem Körper wird das induzierte elektrische Feld im Einzelfall dosimetrisch ermittelt.

Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber magnetischen Feldern

Niedrige Auslöseschwellen (vgl. Tabelle B2) werden bei Frequenzen unter 400 Hz aus den Expositionsgrenzwerten für sensorische Wirkungen (vgl. Tabelle A3) abgeleitet, Auslöseschwellen für Frequenzen über 400 Hz werden aus den Expositionsgrenzwerten für gesundheitliche Wirkungen interner elektrischer Felder (vgl. Tabelle A2) abgeleitet.

Hohe Auslöseschwellen (vgl. Tabelle B2) werden aus den Expositionsgrenzwerten für gesundheitliche Wirkungen interner elektrischer Felder in Bezug auf die elektrische Stimulation von peripherem und autonomem Nervengewebe in Kopf und Rumpf (vgl. Tabelle A2) abgeleitet. Durch die Einhaltung der hohen Auslöseschwellen wird sichergestellt, dass die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen nicht überschritten werden; Wirkungen im Zusammenhang mit Phosphenen der Netzhaut und geringfügigen vorübergehenden Veränderungen bei Hirnfunktionen sind jedoch möglich, wenn die Exposition des Kopfes die niedrigen Auslöseschwellen für Expositionen bis 400 Hz übersteigt. In diesem Fall findet Artikel 5 Absatz 6 Anwendung.

Die Auslöseschwellen für die Exposition von Gliedmaßen werden aus den Expositionsgrenzwerten für gesundheitliche Wirkungen interner elektrischer Felder in Bezug auf die elektrische Stimulation von Gliedmaßengewebe abgeleitet, wobei berücksichtigt wird, dass das magnetische Feld weniger stark an die Gliedmaßen als an den gesamten Körper gekoppelt ist.

Tabelle B2

Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber magnetischen Feldern von 1 Hz bis 10 MHz

Frequenzbereich	Niedrige Auslöseschwellen für magnetische Flussdichte (B)(μT) (RMS)	Hohe Auslöseschwellen für magnetische Flussdichte (B)(μT) (RMS)	Magnetische Flussdichte: Auslöseschwellen für die Exposition von Gliedmaßen gegenüber einem lokalen Magnetfeld (μT) (RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5/f^2$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$8 \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$25 \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Anmerkung B2-1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung B2-2: Niedrige Auslöseschwellen und hohe Auslöseschwellen ergeben sich aus den Effektivwerten (quadratischer Mittelwert), die bei sinusförmigen Feldern den Spitzenwerten geteilt durch $\sqrt{2}$ entsprechen. Bei nicht sinusförmigen Feldern basiert die gemäß Artikel 4 durchgeführte Expositionsrechnung auf der Methode gewichteter Spitzenwerte (Gewichtung im Zeitbereich), wie in den in Artikel 14 genannten Leitfäden dargelegt; es können aber auch andere wissenschaftlich nachgewiesene und validierte Expositionsrechnungsverfahren herangezogen werden, vorausgesetzt sie führen zu annähernd gleichwertigen und vergleichbaren Ergebnissen.

Anmerkung B2-3: Die Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber magnetischen Feldern stellen die Höchstwerte am Standort des Körpers des Arbeitnehmers dar. Dadurch ergibt sich für alle ungleichmäßigen Expositionsbedingungen eine konservative Bewertung der Exposition und die automatische Einhaltung der Expositionsgrenzwerte. Zur Vereinfachung der gemäß Artikel 4 durchzuführenden Bewertung der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte im Falle spezifischer ungleichmäßiger Bedingungen werden in den in Artikel 14 genannten Leitfäden Kriterien für die örtliche Mittelung der gemessenen Felder nach anerkannten Dosimetrieverfahren festgelegt. Im Fall einer räumlich stark eingegrenzten Quelle innerhalb eines Abstands von einigen Zentimetern von einem Körper wird das induzierte elektrische Feld im Einzelfall dosimetrisch ermittelt.

Tabelle B3

Auslöseschwellen für Kontaktstrom (I_C)

Frequenz	Auslöseschwelle (I_C) für stationären zeitvariablen Kontaktstrom (mA) (RMS)
Bis 2,5 kHz	1,0
$2,5 \leq f < 100$ kHz	0,4f
$100 \text{ kHz} \leq f \leq 10\,000$ kHz	40

Anmerkung B3-1: f ist die Frequenz in Kilohertz (kHz).

Auslöseschwellen für die magnetische Flussdichte statischer magnetischer Felder

Tabelle B4

Auslöseschwellen für die magnetische Flussdichte statischer magnetischer Felder

Gefahrenquelle	Auslöseschwelle (B_0)
Beeinflussung von implantierten aktiven Geräten, z. B. Herzschrittmacher	0,5 mT
Verletzungsrisiko durch Anziehung und Projektilwirkung im Streufeld von Quellen mit hohen Feldstärken (> 100 mT)	3 mT

ANHANG III

THERMISCHE WIRKUNGEN

EXPOSITIONSGRENZWERTE UND AUSLÖSESCHWELLEN IM FREQUENZBEREICH VON 100 kHz BIS 300 GHz

A. EXPOSITIONSGRENZWERTE

Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen bei Frequenzen von 100 kHz bis 6 GHz (Tabelle A1) sind Grenzwerte für die je Masseneinheit des Körpergewebes absorbierte Energie und Leistung aufgrund der Exposition gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern.

Expositionsgrenzwerte für sensorische Wirkungen bei Frequenzen von 0,3 bis 0,6 GHz (Tabelle A2) sind Grenzwerte für von einer kleinen Masse des Kopfgewebes absorbierte Energie aufgrund der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern.

Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen bei Frequenzen von über 6 GHz (Tabelle A3) sind Grenzwerte für die Leistungsdichte einer auf die Körperoberfläche auftreffenden elektromagnetischen Welle.

Tabelle A1

Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern von 100 kHz bis 6 GHz

Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen	Gemittelte SAR-Werte über Sechs-Minuten-Intervalle
Expositionsgrenzwert für Ganzkörper-Wärmebelastung, ausgedrückt als gemittelte SAR im Körper	0,4 Wkg ⁻¹
Expositionsgrenzwert für die lokale Wärmebelastung in Kopf und Rumpf, ausgedrückt als lokale SAR im Körper	10 Wkg ⁻¹
Expositionsgrenzwert für die lokale Wärmebelastung in Gliedmaßen, ausgedrückt als lokale SAR in Gliedmaßen	20 Wkg ⁻¹

Anmerkung A1-1: Die zu mittelnde Gewebemasse für lokale SAR-Werte beträgt 10 g eines beliebigen zusammenhängenden Körpergewebes; die so ermittelten SAR-Maximalwerte sollten für die Expositionsabschätzung herangezogen werden. Diese 10 g Gewebe sollen eine Masse zusammenhängenden Gewebes mit nahezu gleichen elektrischen Eigenschaften sein. Hinsichtlich der Bestimmung einer Masse zusammenhängenden Gewebes wird eingeräumt, dass dieses Konzept bei der numerischen Dosimetrie angewandt werden kann, bei direkten physikalischen Messungen jedoch unter Umständen Schwierigkeiten bereitet. Es kann eine einfache geometrische Form, beispielsweise eine kubische oder kugelförmige Gewebemasse, verwendet werden.

Expositionsgrenzwert für sensorische Wirkungen bei Frequenzen von 0,3 bis 6 GHz

Dieser Expositionsgrenzwert für sensorische Wirkungen (Tabelle A2) bezieht sich auf die Unterbindung von Höreffekten, die durch die Exposition des Kopfes gegenüber gepulsten Mikrowellen bedingt sind.

Tabelle A2

Expositionsgrenzwert für sensorische Wirkungen bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern von 0,3 bis 6 GHz

Frequenzbereich	Lokale spezifische Energieabsorption (SA)
$0,3 \leq f \leq 6 \text{ GHz}$	10 mJkg ⁻¹

Anmerkung A2-1: Die zu mittelnde Gewebemasse für lokale SA beträgt 10 g.

Tabelle A3

Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern von 6 GHz bis 300 GHz

Frequenzbereich	Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen in Relation zur Leistungsdichte
$6 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	50 Wm ⁻²

Anmerkung A3-1: Die Leistungsdichte wird über jedes Flächenelement von 20 cm² gemittelt. Die maximale örtliche Leistungsdichte, gemittelt über 1 cm², sollte das 20fache des Wertes von 50 Wm⁻² nicht überschreiten. Leistungsdichten von 6 bis 10 GHz werden über Sechs-Minuten-Intervalle gemittelt. Bei mehr als 10 GHz wird die Leistungsdichte über ein beliebiges Zeitintervall von jeweils 68/f^{1,05}-Minuten gemittelt (wobei f die Frequenz in GHz ist), um die mit steigender Frequenz immer geringer werdende Eindringtiefe auszugleichen.

B. AUSLÖSESCHWELLEN

Die folgenden physikalischen Größen und Werte werden zur Angabe der Auslöseschwellen herangezogen, die festgelegt werden, damit mittels vereinfachter Bewertung sichergestellt werden kann, dass die einschlägigen Expositionsgrenzwerte eingehalten werden, oder um anzugeben, ab wann die relevanten Schutz- oder Präventivmaßnahmen gemäß Artikel 5 zu ergreifen sind:

- Auslöseschwelle (E) für die elektrische Feldstärke E eines zeitvariablen elektrischen Felds wie in Tabelle B1 angegeben;
- Auslöseschwelle (B) für die magnetische Flussdichte B eines zeitvariablen magnetischen Felds wie in Tabelle B1 angegeben;
- Auslöseschwelle (S) für die Leistungsdichte elektromagnetischer Wellen wie in Tabelle B1 angegeben;
- Auslöseschwelle (I_C) für Kontaktstrom wie in Tabelle B2 angegeben;
- Auslöseschwelle (I_L) für Strom durch die Gliedmaßen wie in Tabelle B2 angegeben.

Die Auslöseschwellen entsprechen den am Arbeitsplatz in Abwesenheit des Arbeitnehmers als Höchstwert am Standort des Körpers oder des spezifizierten Körperteils berechneten oder gemessenen Feldwerten.

Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern

Die Auslöseschwelle (E) und die Auslöseschwelle (B) werden aus dem SAR-Wert oder dem Expositionsgrenzwert für die Leistungsdichte (Tabellen A1 und A3) abgeleitet, auf der Grundlage der Schwellenwerte für die durch Exposition gegenüber (externen) elektrischen und magnetischen Feldern verursachten internen thermischen Wirkungen.

Tabelle B1

Auslöseschwellen für die Exposition gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern von 100 kHz bis 300 GHz

Frequenzbereich	Auslöseschwelle (E) für die elektrische Feldstärke (Vm ⁻¹) (RMS)	Auslöseschwelle (B) für die magnetische Flussdichte (μT) (RMS)	Auslöseschwelle (S) für die Leistungsdichte (Wm ⁻²)
100 kHz ≤ f < 1 MHz	6,1 × 10 ²	2,0 × 10 ⁶ /f	—
1 ≤ f < 10 MHz	6,1 × 10 ⁸ /f	2,0 × 10 ⁶ /f	—
10 ≤ f < 400 MHz	61	0,2	—
400 MHz ≤ f < 2 GHz	3 × 10 ⁻³ f ^{1/2}	1,0 × 10 ⁻⁵ f ^{1/2}	—
2 ≤ f < 6 GHz	1,4 × 10 ²	4,5 × 10 ⁻¹	—
6 ≤ f ≤ 300 GHz	1,4 × 10 ²	4,5 × 10 ⁻¹	50

Anmerkung B1-1: f ist die Frequenz in Hertz (Hz).

Anmerkung B1-2: (Auslöseschwelle (E))² und (Auslöseschwelle (B))² werden über ein Sechs-Minuten-Intervall gemittelt. Bei Hochfrequenzpulsen (HF-Pulsen) darf die über die Impulsbreite gemittelte höchste Leistungsdichte das 1 000-fache der entsprechenden Auslöseschwelle (S) nicht überschreiten. Bei Feldern mit mehreren Frequenzen basiert die Analyse auf einer Summation, wie in den in Artikel 14 genannten Leitfäden dargelegt.

Anmerkung B1-3: Die Auslöseschwelle (E) und die Auslöseschwelle (B) stellen die am Standort des Körpers des Arbeitnehmers berechneten oder gemessenen Höchstwerte dar. Dadurch ergibt sich für alle ungleichmäßigen Expositionsbedingungen eine konservative Bewertung der Exposition und die automatische Einhaltung der Expositionsgrenzwerte. Zur Vereinfachung der gemäß Artikel 4 durchzuführenden Bewertung der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte im Falle spezifischer ungleichmäßiger Bedingungen werden in den in Artikel 14 genannten Leitfäden Kriterien für die örtliche Mittelung der gemessenen Felder nach anerkannten Dosimetrieverfahren festgelegt. Im Fall einer lokal räumlich stark begrenzten Quelle im Abstand von einigen Zentimetern von einem Körper wird die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte im Einzelfall dosimetrisch ermittelt.

Anmerkung B1-4: 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 Wm⁻² nicht überschreiten. Leistungsdichten von 6 bis 10 GHz werden über Sechs-Minuten-Intervalle gemittelt. Über 10 GHz wird die Leistungsdichte über ein beliebiges Zeitintervall von jeweils $68/f^{1,05}$ -Minuten gemittelt (wobei f die Frequenz in GHz ist), um die bei steigender Frequenz immer kürzer werdende Eindringtiefe auszugleichen.

Tabelle B2

Auslöseschwellen für stationären Kontaktstrom und induzierte Ströme durch die Gliedmaßen

Frequenzbereich	Auslöseschwelle (I_C) für stationären zeitvariablen Kontaktstrom (mA) (RMS)	Auslöseschwelle (I_I) für induzierten Strom durch eine beliebige Gliedmaße (mA) (RMS)
$100 \text{ kHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$	40	—
$10 \text{ MHz} \leq f \leq 110 \text{ MHz}$	40	100

Anmerkung B2-1: (Auslöseschwelle (I_I))² wird über ein sechs-Minuten-Intervall gemittelt.

ANHANG IV

Entsprechungstabelle

Richtlinie 2004/40/EG	Diese Richtlinie
Artikel 1 Absatz 1	Artikel 1 Absatz 1
Artikel 1 Absatz 2	Artikel 1 Absätze 2 und 3
Artikel 1 Absatz 3	Artikel 1 Absatz 4
Artikel 1 Absatz 4	Artikel 1 Absatz 5
Artikel 1 Absatz 5	Artikel 1 Absatz 6
Artikel 2 Buchstabe a	Artikel 2 Buchstabe a
—	Artikel 2 Buchstabe b
—	Artikel 2 Buchstabe c
Artikel 2 Buchstabe b	Artikel 2 Buchstaben d, e und f
Artikel 2 Buchstabe c	Artikel 2 Buchstabe g
Artikel 3 Absatz 1	Artikel 3 Absatz 1
Artikel 3 Absatz 2	Artikel 3 Absatz 1
—	Artikel 3 Absatz 2
Artikel 3 Absatz 3	Artikel 3 Absätze 2 und 3
—	Artikel 3 Absatz 4
Artikel 4 Absatz 1	Artikel 4 Absatz 1
Artikel 4 Absatz 2	Artikel 4 Absätze 2 und 3
Artikel 4 Absatz 3	Artikel 4 Absatz 3
Artikel 4 Absatz 4	Artikel 4 Absatz 4
Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe a	Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe b
Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe b	Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe a
—	Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe c
Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe c	Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe d
Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe d	Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe e
Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe d Ziffer i	—
Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe d Ziffer ii	—
Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe d Ziffer iii	—

Richtlinie 2004/40/EG	Diese Richtlinie
Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe d Ziffer iv	—
Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe e	Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe f
Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe f	Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe g
—	Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe h
—	Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe i
Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe g	Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe j
Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe h	Artikel 4 Absatz 5 Buchstabe k
—	Artikel 4 Absatz 6
Artikel 4 Absatz 6	Artikel 4 Absatz 7
Artikel 5 Absatz 1	Artikel 5 Absatz 1
Artikel 5 Absatz 2, Einleitungssatz	Artikel 5 Absatz 2, Einleitungssatz
Artikel 5 Absatz 2 Buchstaben a bis c	Artikel 5 Absatz 2 Buchstaben a bis c
—	Artikel 5 Absatz 2 Buchstabe d
—	Artikel 5 Absatz 2 Buchstabe e
Artikel 5 Absatz 2 Buchstaben d bis g	Artikel 5 Absatz 2 Buchstaben f bis i
—	Artikel 5 Absatz 4
Artikel 5 Absatz 3	Artikel 5 Absatz 5
—	Artikel 5 Absatz 6
—	Artikel 5 Absatz 7
Artikel 5 Absatz 4	Artikel 5 Absatz 8
—	Artikel 5 Absatz 9
Artikel 5 Absatz 5	Artikel 5 Absatz 3
Artikel 6, Einleitungssatz	Artikel 6, Einleitungssatz
Artikel 6 Buchstabe a	Artikel 6 Buchstabe a
Artikel 6 Buchstabe b	Artikel 6 Buchstabe b
—	Artikel 6 Buchstabe c
Artikel 6 Buchstabe c	Artikel 6 Buchstabe d
Artikel 6 Buchstabe d	Artikel 6 Buchstabe e
—	Artikel 6 Buchstabe f

Richtlinie 2004/40/EG	Diese Richtlinie
Artikel 6 Buchstabe e	Artikel 6 Buchstabe g
Artikel 6 Buchstabe f	Artikel 6 Buchstabe h
—	Artikel 6 Buchstabe i
Artikel 7	Artikel 7
Artikel 8 Absatz 1	Artikel 8 Absatz 1
Artikel 8 Absatz 2	—
Artikel 8 Absatz 3	Artikel 8 Absatz 2
Artikel 9	Artikel 9
—	Artikel 10
Artikel 10 Absatz 1	Artikel 11 Absatz 1 Buchstabe c
Artikel 10 Absatz 2 Buchstabe a	Artikel 11 Absatz 1 Buchstabe a
Artikel 10 Absatz 2 Buchstabe b	Artikel 11 Absatz 1 Buchstabe b
Artikel 11	—
—	Artikel 12
—	Artikel 13
—	Artikel 14
—	Artikel 15
Artikel 13 Absatz 1	Artikel 16 Absatz 1
Artikel 13 Absatz 2	Artikel 16 Absatz 2
—	Artikel 17
Artikel 14	Artikel 18
Artikel 15	Artikel 19
Anhang	Anhang I, Anhang II und Anhang III
—	Anhang IV

In der Richtlinie 2013/35/EU sind die Mindestvorschriften zum Schutz der Sicherheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch elektromagnetische Felder (EMF) festgelegt. Der vorliegende praktische Leitfaden soll den Arbeitgebern, insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), bei der Erfüllung ihrer Pflichten aus dieser Richtlinie als Hilfestellung dienen. Er kann aber auch für Arbeitnehmer, Arbeitnehmervertreter und die Aufsichtsbehörden der Mitgliedstaaten von Nutzen sein. Der Leitfaden besteht aus zwei Bänden und einem gesonderten Leitfaden für kleine und mittlere Unternehmen.

In Band 1 des praktischen Leitfadens finden Sie Hinweise zur Durchführung von Risikobewertungen und weiterführende Informationen für den Fall, dass Sie zusätzliche Schutz- oder Präventionsmaßnahmen treffen müssen.

In Band 2 werden zwölf Fallstudien vorgestellt, die Arbeitgebern beispielhaft zeigen, wie eine Risikobewertung anzugehen ist, und die einige der Präventions- und Schutzmaßnahmen veranschaulichen, die ergriffen werden können. Die Fallstudien stellen Arbeitsstätten verallgemeinernd dar, wurden jedoch anhand realer Arbeitssituationen zusammengestellt.

Der Leitfaden für KMU bietet Ihnen Hilfestellung bei der ersten Bewertung der von elektromagnetischen Feldern am Arbeitsplatz ausgehenden Gefährdungen. Auf Grundlage der Bewertungsergebnisse können Sie mithilfe des Leitfadens feststellen, ob Sie infolge der EMF-Richtlinie weitere Maßnahmen ergreifen müssen.

Diese Veröffentlichung ist elektronisch in allen EU-Amtssprachen verfügbar.

Sie können unsere Veröffentlichungen unter folgender Adresse kostenlos herunterladen oder abonnieren: <http://ec.europa.eu/social/publications>

Wenn Sie regelmäßig über die Generaldirektion Beschäftigung, Soziales und Integration informiert werden möchten, melden Sie sich für den Erhalt des kostenlosen *elektronischen Social-Europe-Newsletters* an unter <http://ec.europa.eu/social/e-newsletter>



<https://www.facebook.com/socialeurope>



https://twitter.com/EU_Social

