
BGV B11

Elektromagnetische Felder

(bisher VBG 25)

vom 1. Juni 2001

Vorbemerkung

Die derzeitige Situation an Arbeitsplätzen erfordert eine Regelung im Arbeitsschutz für Bereiche, in denen elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder (EM-Felder) zur Anwendung kommen.

Diese Unfallverhütungsvorschrift trägt diesen Umständen Rechnung, indem in ihr Festlegungen, wie

- grundlegende Regelungen,
 - zulässige Werte zur Bewertung von Expositionen,
 - Mess- und Bewertungsverfahren
- und

- Sonderfestlegungen für spezielle Anlagen,

getroffen werden, bei deren Einhaltung nach dem heutigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand Tätigkeiten sicher und ohne wesentliche Belästigungen ausgeübt werden können.

Erstes Kapitel Geltungsbereich

§ 1 Geltungsbereich

- (1) Diese Unfallverhütungsvorschrift gilt, soweit Versicherte elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern, im folgenden EM-Felder genannt, im Frequenzbereich 0 Hz bis 300 GHz unmittelbar oder deren mittelbaren Wirkungen ausgesetzt sind.
- (2) Diese Unfallverhütungsvorschrift gilt nicht für die Exposition von Patienten bei gewollter medizinischer Einwirkung von EM-Feldern.
- (3) Diese Unfallverhütungsvorschrift gilt nicht, soweit die Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetz (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) zur Anwendung kommt.

Zweites Kapitel Begriffsbestimmungen

§ 2 Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser Unfallverhütungsvorschrift werden folgende Begriffe bestimmt:

1. **Basiswerte** sind die aufgrund der unmittelbaren oder mittelbaren Wirkungen festgelegten Grenzwerte für
 - die elektrische Stromdichte J im Körper in A/m^2 ,
 - die spezifische Absorption SA in J/kg ,
 - die spezifische Absorptionsrate SAR in W/kg
und
 - die Leistungsdichte S in W/m^2 ,die nicht überschritten werden dürfen.
2. **Abgeleitete Werte** sind die aus den Basiswerten ermittelten Werte für
 - die elektrische Feldstärke E in V/m ,
 - die magnetische Feldstärke H in A/m ,
 - die magnetische Flussdichte B in T ($1T = 1 VS/m^2$),
 - die Leistungsdichte S in W/m^2 ,
 - den Körperstrom I in A ,
 - die Berührungsspannung U in Vbei Ganzkörper- und Teilkörperexposition durch EM-Felder.
3. **Zulässiger Wert** ist die Obergrenze einer Größe, die einzuhalten ist.
4. **Unzulässige Exposition** ist gegeben, wenn EM-Felder oberhalb der zulässigen Werte auf Versicherte einwirken.
5. **Expositionsbereich 2** ist der Bereich, der alle Bereiche des Unternehmens umfasst, sofern sie nicht dem Expositionsbereich 1, dem Bereich erhöhter Exposition oder dem Gefahrenbereich (siehe Nummern 6 bis 8) zuzuordnen sind.
6. **Expositionsbereich 1** ist der Bereich, der kontrollierte Bereiche sowie Bereiche umfasst, in denen aufgrund der Betriebsweise oder aufgrund der Aufenthaltsdauer sichergestellt ist, dass eine Exposition oberhalb der zulässigen Werte von Expositionsbereich 2 nur vorübergehend erfolgt.
7. **Bereich erhöhter Exposition** ist ein kontrollierter Bereich, in dem die Werte des Expositionsbereiches 1 überschritten werden.
8. **Gefahrenbereich** ist ein kontrollierter Bereich, in dem die Werte für Bereiche erhöhter Exposition überschritten werden.

9. **Schutzeinrichtungen** sind elektrische oder mechanische Einrichtungen, die unzulässige Expositionen verhindern.

Drittes Kapitel Maßnahmen zur Verhütung von Gefahren für Leben und Gesundheit bei der Arbeit

Erster Abschnitt Gemeinsame Bestimmungen

§ 3

Allgemeine Anforderungen

- (1) Soweit nichts anderes bestimmt ist, richten sich die Festlegungen dieses Kapitels an Unternehmer und Versicherte.
- (2) Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass in Arbeitsstätten und an Arbeitsplätzen weder unzulässige Expositionen noch unzulässige mittelbare Wirkungen durch EM-Felder auftreten.

§ 4

Beurteilung der Expositionsbereiche

- (1) Der Unternehmer hat sicherzustellen, dass für Expositionsbereiche die zulässigen Werte in Anlage 1 nicht überschritten werden. Dazu hat er
 - die Expositionsbereiche festzulegen,
 - die auftretenden EM-Felder zu ermitteln,
 - die Beurteilung einer Exposition durch Vergleich mit den zulässigen Werten entsprechend Anlage 1 vorzunehmen.
- (2) Ist sichergestellt, dass die für den Expositionsbereich 2 zulässigen Werte nicht überschritten werden, sind Maßnahmen nicht erforderlich. § 12 bleibt hiervon unberührt.
- (3) Werden in festgelegten Expositionsbereichen die jeweils zulässigen Werte überschritten, so hat der Unternehmer umgehend Maßnahmen anzuwenden, die verhindern, dass unzulässige Expositionen auftreten.
- (4) Nach Änderungen von Geräten und Anlagen, die feldrelevant sein können, hat eine erneute Beurteilung nach den Absätzen 1 bis 3 zu erfolgen.

§ 5

Betriebsanweisungen

- (1) Der Unternehmer hat für Anlagen und Geräte, deren EM-Felder die zulässigen Werte des Expositionsbereiches 2 überschreiten, Betriebsanweisungen aufzustellen. Diese

müssen die für den sicheren Betrieb notwendigen Angaben enthalten und auf die Möglichkeit der Exposition durch EM-Felder hinweisen.

- (2) Die Versicherten haben die in den Betriebsanweisungen enthaltenen Festlegungen zu befolgen.

§ 6

Bereiche erhöhter Exposition, Gefahrbereiche

- (1) Der Unternehmer hat Bereiche erhöhter Exposition und Gefahrbereiche zu bestimmen. Er hat das Ergebnis zu dokumentieren.
- (2) Der Unternehmer hat bei feldrelevanten Änderungen von Anlagen und Geräten die Bereiche erhöhter Exposition und die Gefahrbereiche neu zu bestimmen. Er hat die Änderungen zu dokumentieren.
- (3) Der Unternehmer hat Bereiche erhöhter Exposition zu kennzeichnen.
- (4) Absatz 3 gilt nicht, wenn durch Konstruktion und Betriebsweise der Anlage die Sicherheit auf andere Art gewährleistet wird.
- (5) Der Unternehmer hat Bereiche erhöhter Exposition so zu sichern, dass sich innerhalb dieser Bereiche während des Betriebes von Anlagen und Geräten keine unbefugten Personen aufhalten können.
- (6) Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass in Bereichen erhöhter Exposition nur hierzu befugte Personen tätig werden, wenn
 - durch technische oder organisatorische Maßnahmen sichergestellt ist, dass die für Kurzzeit- und Teilkörperexposition geltenden zulässigen Werte nicht überschritten werden
 - oder
 - persönliche Schutzausrüstungen (siehe § 8) benutzt werden, die eine unzulässige Exposition verhindern.
- (7) Der Unternehmer hat Gefahrbereiche zu kennzeichnen und durch dauerhafte Abgrenzungen oder Schutzeinrichtungen so zu sichern, dass während des Betriebes Personen nicht hineingreifen, hineingelangen oder sich darin aufhalten können. In abgeschlossenen Betriebsstätten, zu denen nur befugte Personen Zugang haben, ist eine Kennzeichnung des Gefahrbereiches ausreichend.
- (8) Ist ein Gefahrbereich von der Betriebsweise der Anlage abhängig, so hat der Unternehmer durch ständige Kontrolle sicherzustellen, dass Versicherte nicht unzulässigen Expositionen ausgesetzt sind.
- (9) Ist ein Gefahrbereich nicht eindeutig zu bestimmen oder zeitlichen Änderungen unterworfen, so hat der Unternehmer durch wiederholte Messungen der EM-Felder im Arbeitsbereich sicherzustellen, dass für die Versicherten keine unzulässige Exposition besteht.
- (10) Abweichend von Absatz 7 dürfen Versicherte in Gefahrbereichen tätig werden, wenn durch geeignete persönliche Schutzausrüstungen eine unzulässige Exposition ausgeschlossen ist.

§ 7

Kennzeichnung und Abgrenzung

- (1) Der Unternehmer hat sicherzustellen, dass die Kennzeichnung nach dieser Unfallverhütungsvorschrift deutlich erkennbar und dauerhaft durch Warn-, Hinweis- und Zusatzzeichen sowie Verbotsschilder und Warnleuchten erfolgt.
- (2) Der Unternehmer hat sicherzustellen, dass Abgrenzungen nach dieser Unfallverhütungsvorschrift so ausgeführt sind, dass sie die notwendige Sicherheit bieten.
- (3) Müssen zur Durchführung von Arbeiten nach § 15 ständige Abgrenzungen entfernt werden, sind diese nach Beendigung der Arbeiten wieder anzubringen. Die zur Durchführung dieser Arbeiten nur vorübergehend angebrachten Abgrenzungen sind dagegen nach Beendigung der Arbeiten wieder zu entfernen. Erst danach dürfen die Anlagen vom Verantwortlichen wieder zum Betrieb freigegeben werden.

§ 8

Persönliche Schutzausrüstungen

- (1) Der Unternehmer hat geeignete persönliche Schutzausrüstungen auszuwählen und den Versicherten zur Verfügung zu stellen.
- (2) Die Versicherten haben die zur Verfügung gestellten persönlichen Schutzausrüstungen zu benutzen.

§ 9

Prüfung

- (1) Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass die Einhaltung der Festlegungen dieser Unfallverhütungsvorschrift wie folgt geprüft wird:
 - Vor der ersten Inbetriebnahme,
 - nach einer wesentlichen Änderung oder Instandsetzung
und
 - in bestimmten Zeitabständen.
- (2) Die Prüfung hat durch einen Sachkundigen zu erfolgen.
- (3) Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass die Prüffristen so bemessen sind, dass entstehende Mängel, mit denen gerechnet werden muss, rechtzeitig festgestellt werden.

§ 10

Unterweisung

- (1) Der Unternehmer hat die Versicherten über die bei ihren Tätigkeiten auftretenden Gefahren sowie über die Maßnahmen zu ihrer Abwendung vor Beginn der Tätigkeit und danach in angemessenen Zeitabständen, mindestens jedoch einmal jährlich, zu unterweisen.
- (2) Der Unternehmer hat Versicherte, die in Gefahrbereichen tätig sind, alle 12 Monate zu unterweisen. Die Unterweisungen sind zu dokumentieren.

§ 11

Anlagenspezifische Dokumentation

Angaben zur Anlage in Bezug auf EM-Felder, zu Bereichen erhöhter Exposition und Gefahrenbereichen sowie zu feldrelevanten Änderungen und Prüfprotokolle sind vom Unternehmer während der Betriebszeit der Anlage zugänglich und mindestens 10 Jahre nach Außerbetriebstellung aufzubewahren.

Zweiter Abschnitt Besondere Festlegungen

§ 12

Mittelbare Wirkungen, Körperhilfsmittel

- (1) Der Unternehmer hat durch technische Maßnahmen zu verhindern, dass Versicherte durch Energien gefährdet werden, die durch EM-Felder an elektrisch leitfähigen Gegenständen erzeugt werden.
- (2) Besteht die Möglichkeit, dass Systeme infolge einer Beeinflussung durch EM-Felder versagen und dadurch Versicherte gefährdet werden, hat der Unternehmer dies durch technische oder organisatorische Maßnahmen zu verhindern.
- (3) Für Personen mit aktiven oder passiven Körperhilfsmitteln sind besondere Maßnahmen erforderlich, durch die Funktionsstörungen der Körperhilfsmittel oder Schädigungen der Person verhindert werden. Der Unternehmer hat alle Versicherten auf solche möglichen Gefährdungen hinzuweisen. Versicherte haben den Unternehmer über eine Versorgung mit Körperhilfsmitteln zu informieren, damit der Unternehmer notwendige Maßnahmen ergreifen kann.

§ 13

Versuchsanlagen und ortsveränderliche Quellen

- (1) Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass bei Versuchsanlagen und ortsveränderlichen Quellen Gefahrenbereiche abgegrenzt, gekennzeichnet und durch rote Warnleuchten der Betriebszustand "EIN" angezeigt werden.
- (2) Der Unternehmer hat die Zugangsstellen zu Bereichen erhöhter Exposition zu kennzeichnen.

§ 14

Anlagen mit hohen statischen Magnetfeldern

- (1) Anstelle der nach § 4 zulässigen Werte dürfen bei hohen statischen Magnetfeldern die Werte nach Tabelle 1 der Anlage 2 zur Bewertung der Exposition von Versicherten zugrunde gelegt werden, wenn sichergestellt ist, dass zusätzlich die Festlegungen der Absätze 2 bis 8 erfüllt sind.
- (2) Der Unternehmer hat sicherzustellen, dass Gefährdungen durch Kraftwirkungen statischer Magnetfelder verhindert sind.

- (3) Der Unternehmer hat Bereiche, in denen die zulässigen Werte nach Anlage 2 zur Anwendung kommen, gegen unbefugtes Betreten zu sichern.
- (4) Versicherte dürfen in diesen Bereichen nur tätig werden, wenn dies für sie gefahrlos möglich ist.
- (5) Der Unternehmer hat die Versicherten über die besonderen Wirkungen, z.B. Kraftwirkungen und Wirkungen auf elektronische und medizinische Geräte, zu unterweisen.
- (6) Der Unternehmer hat auf die besonderen Wirkungen und Gefährdungen durch Kennzeichnung hinzuweisen.
- (7) Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass bei Versicherten mit aktiven oder passiven Körperhilfsmitteln sowie ferromagnetischen oder leitfähigen Fremdkörpern individuell über den Einsatz entschieden wird.
- (8) Der Unternehmer hat für Versicherte nach Absatz 7 eine eindeutige Zugangsregelung zu treffen. Er hat die Grenzen der zulässigen Aufenthaltsbereiche deutlich zu kennzeichnen.

§ 15

Instandhaltung, Erprobung

- (1) Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass Instandhaltungsarbeiten nach den Festlegungen in der Betriebsanweisung durchgeführt werden.
- (2) Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass Instandhaltungsarbeiten im Bereich erhöhter Exposition nur unter entsprechender Aufsicht eines Sachkundigen durchgeführt werden.
- (3) Sind Instandhaltungsarbeiten im Gefahrenbereich unumgänglich, so hat der Unternehmer dafür zu sorgen, dass
 - die EM-Felder durch Maßnahmen an der Quelle reduziert werden oder, wenn dies aus technischen Gründen nicht möglich ist, persönliche Schutzausrüstungen benutzt werden
 - und
 - im Gefahrenbereich Versicherte vor Arbeitsbeginn eingewiesen und durch einen Aufsichtführenden beaufsichtigt werden.
- (4) Für Erprobungen sind die Absätze 1 bis 3 sinngemäß anzuwenden.

Viertes Kapitel

Ordnungswidrigkeiten

§ 16

Ordnungswidrigkeiten

Ordnungswidrig im Sinne des § 209 Abs. 1 Nr. 1 Siebtes Buch Sozialgesetzbuch (SGB VII) handelt, wer vorsätzlich oder fahrlässig den Bestimmungen

- des § 3 Abs. 1 in Verbindung mit
 - § 4 Abs. 1,
 - §§ 5, 6 Abs. 1, 2, 5, 6 oder 7,
 - § 9 Abs. 1,
 - §§ 10, 13, 14 Abs. 2, 3, 5 bis 8
- oder
- § 15 Abs. 1, 2 oder 3

zuwiderhandelt.

Fünftes Kapitel Übergangs- und Ausführungsbestimmungen

§ 17

Übergangs- und Ausführungsbestimmungen

Die Berufsgenossenschaft kann bestimmen, dass abweichend von der Übergangsfrist gemäß § 61 der Unfallverhütungsvorschrift "Allgemeine Vorschriften" (BGV A1, bisherige VBG 1) eine Einrichtung entsprechend dieser Unfallverhütungsvorschrift geändert wird, wenn ohne die Änderung Gefahren für Leben oder Gesundheit zu befürchten sind.

Sechstes Kapitel Inkrafttreten

§ 18

Inkrafttreten

Diese Unfallverhütungsvorschrift tritt am 1. Juni 2001^{1*} in Kraft.

Anlage 1 **Zulässige Werte für EM-Felder**

Als zulässige Werte werden Basis- und abgeleitete Werte für die verschiedenen Expositionsbereiche angegeben. Diese gelten für sinusförmige periodische Vorgänge einer Frequenz. Für gepulste elektromagnetische Felder und Anwendung der Basiswerte siehe Abschnitte 3 und 4.

Die zulässigen Werte für **Expositionsbereich 1** orientieren sich am Konzept der Vermeidung von Gefährdungen unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren. Es sind Effekte berücksichtigt, wie Reizung von Sinnesorganen, Nerven- und Muskelzellen, Beeinflussung der Herzaktion und Wärmeeffekte. Die Werte gelten längstens für eine Arbeitsschicht.

Für den **Expositionsbereich 2** gelten Werte, die aufgrund der allgemeinen Zugänglichkeit und zur Vermeidung möglicher Belästigungen zusätzliche Sicherheitsfaktoren berücksichtigen.

1 Basiswerte für unmittelbare Wirkungen

Als Basiswerte für unmittelbare Wirkungen sind die in Tabelle 1 angegebenen Grenzwerte festgelegt.

Tabelle 1: Basiswerte für unmittelbare Wirkungen

Frequenzbereich	Effektivwert der elektrischen Stromdichte J in A/m ² ^{2*}	Spezifische Absorptionsrate SAR in W/kg ^{3*}			Spezifische Absorption für Impulsfelder SA in J/kg ^{4* 5*}	Leistungsdichte S in W/m ² ^{6* 7*}
		Ganzkörpermittelwert	Lokale SAR ^{8*}			
			Kopf und Rumpf	Gliedmaßen		
> 0 – 1 Hz	0,040	(–)	(–)	(–)	(–)	(–)
1 – 4 Hz	0,040 / f ^{9*}	(–)	(–)	(–)	(–)	(–)
4 – 1000 Hz	0,010	(–)	(–)	(–)	(–)	(–)
1 – 100 kHz	f / 100 ^{10*}	(–)	(–)	(–)	(–)	(–)
0,1 – 10 MHz	f / 100 ^{11*}	0,4	10	20	(–)	(–)
0,01 – 10 GHz	(–)	0,4	10	20	0,01	(–)
10 – 300 GHz	(–)	(–)	(–)	(–)	(–)	50
(–) bei diesen Frequenzen nicht relevant						

2 Abgeleitete Werte

Die abgeleiteten Werte sind so festgelegt, dass selbst unter Zugrundelegung der ungünstigsten Expositionsbedingungen der EM-Felder die Basiswerte nicht überschritten werden. Die abgeleiteten Werte für den Expositionsbereich 1 und den Expositionsbereich 2 wurden dabei unter Berücksichtigung verschiedener Sicherheitsfaktoren aus den Basiswerten der Tabelle 1 berechnet.

Die abgeleiteten Werte sind grundsätzlich einzuhalten. Sie dürfen überschritten werden, wenn nachgewiesen ist, dass die Basiswerte nicht überschritten werden.

Die Einhaltung der abgeleiteten Werte gewährleistet nicht zwangsläufig die Sicherheit von Trägern aktiver elektronischer Körperhilfsmittel.

Die Bilder 1 und 2 enthalten die graphische Darstellung der abgeleiteten Werte.

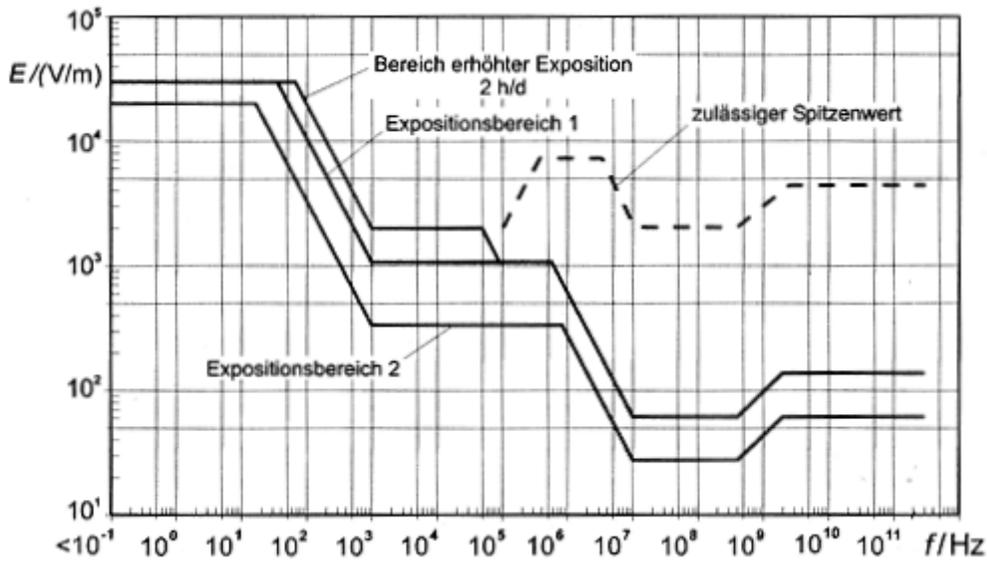


Bild 1: Zulässige Werte der elektrischen Feldstärke in den Expositionsbereichen 1 und 2 sowie im Bereich erhöhter Exposition

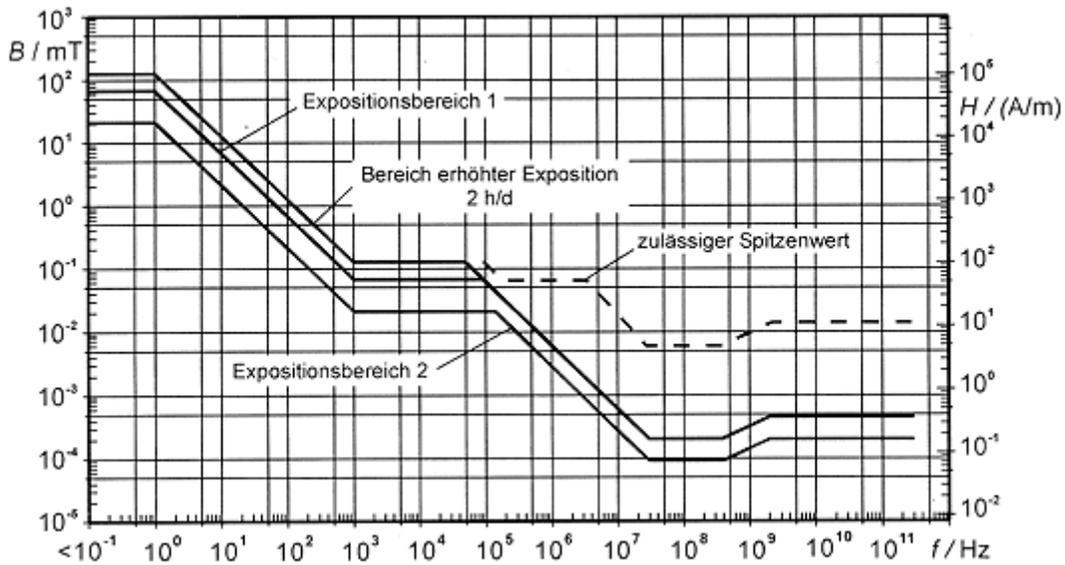


Bild 2: Zulässige Werte der magnetischen Flussdichte in den Expositionsbereichen 1 und 2 sowie im Bereich erhöhter Exposition

2.1 Abgeleitete Werte im Frequenzbereich 0 Hz bis 29 kHz

2.1.1 Zulässige Werte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Bei der Festlegung der Werte für kurze Expositionszeiten werden die Sicherheitsfaktoren der abgeleiteten Werte für Expositionsbereich 1 verringert. Dies ist aufgrund der Größe der Sicherheitsfaktoren und der kontrollierten Expositionsbedingungen zulässig. Zur Begrenzung von Sekundäreffekten darf beim elektrischen Feld ein Wert von 30 kV/m nicht überschritten werden.

Tabelle 2: Effektivwerte der elektrischen Feldstärke im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich f / Hz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in kV/m	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
0 – 35,53	30	30
35,53 – 66,67	1066 / f	30
66,67 – 1000	1066 / f	2000 / f
1000 – 29000	1,066	2

Der zulässige Wert der magnetischen Flussdichte im Frequenzbereich 0 bis 1 Hz des Expositionsbereiches 1 ist aufgrund von Induktionswirkungen auf bewegte leitfähige Körper im Magnetfeld festgelegt worden. Zusätzlich ist in diesem Frequenzbereich die Kraftwirkung auf ferromagnetische Teile zu berücksichtigen.

Tabelle 3: Effektivwerte der magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich f / Hz	Effektivwert der magnetischen Flussdichte in mT ^{12*}	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
0 – 1	67,9 ^{13*}	127,3 ^{14*}
1 – 1000	67,9 / f	127,3 / f
1 000 – 29000	67,9 · 10 ⁻³	127,3 · 10 ⁻³

Für Extremitäten dürfen die in Tabelle 3 angegebenen Werte für Magnetfelder um den Faktor 2,5 überschritten werden.

2.1.2 Zulässige Werte im Expositionsbereich 2

Tabelle 4: Effektivwerte der elektrischen Feldstärke und magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 2

Frequenzbereich f / Hz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in kV/m	Effektivwert der magnetischen Flussdichte in mT ^{15*}
0 – 1	20	21,22
1 – 16,67	20	21,22 / f
16,67 – 1000	333,3 / f	21,22 / f
1000 – 29000	$333,3 \cdot 10^{-3}$	$21,22 \cdot 10^{-3}$

2.2 Übergangsbereich 29 kHz bis 91 kHz

Die Festlegungen für diesen Frequenzbereich berücksichtigen den Übergang von niederfrequenten Reizwirkungen zu hochfrequenten Wärmewirkungen.

2.2.1 Zulässige Werte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Tabelle 5: Effektivwerte der elektrischen Feldstärke im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich f / kHz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in kV/m	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
29 – 48,5	1,066	2
48,5 – 91	1,066	97 / f

Tabelle 6: Effektivwerte der magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich f / kHz	Effektivwert der elektrischen Flussdichte in μT^{16*}	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
29 – 48,5	67,9	127,3
48,5 – 91	67,9	6176 / f

2.2.2 Zulässige Werte im Expositionsbereich 2

Tabelle 7: Effektivwerte der elektrischen Feldstärke und magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 2

Frequenzbereich f / kHz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in V/m	Effektivwert der magnetischen Flussdichte in μT^{17*}
29 - 91	333,3	21,22

2.3 Abgeleitete Werte im Frequenzbereich 91 kHz bis 300 GHz

Für Expositionszeiten $t \geq 6$ Minuten (Dauerexposition) gelten die Werte nach Tabelle 8 bzw. 11. Dabei ist über jedes 6-Minuten-Intervall zu mitteln.

Neben der Angabe von zulässigen Werten für Dauerexposition sind für Expositionszeiten $t < 6$ Minuten wegen der Thermoregulation des Körpers höhere Werte zulässig. Diese sind für jeden Einzelfall mit den in der Tabelle 9 enthaltenen Formeln zu bestimmen. Bei Anwendung der Werte der Tabelle 9 ist zusätzlich sicherzustellen, dass die Spitzenwerte nach Tabelle 10 nicht überschritten werden.

2.3.1 Zulässige Werte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Tabelle 8: Werte im Expositionsbereich 1 bei Expositionszeiten ≥ 6 Minuten

Frequenzbereich f / MHz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in V/m	Effektivwert der magnetischen Feldstärke in A/m	Mittelwert der Leistungsdichte in W/m ²
0,091 – 0,576	1066	4,9 / f	(–)
0,576 – 10	614 / f	4,9 / f	(–)
10 – 30	61,4	4,9 / f	(–)
30 – 400	61,4	0,163	10
400 – 2000	3,07 · \sqrt{f}	8,14 · $\sqrt{f} \cdot 10^{-3}$	f / 40
2000 – 300000	137,3	0,364	50

Tabelle 9: Werte im Bereich erhöhter Exposition (Expositionszeiten < 6 Minuten)

Frequenzbereich f / MHz	Höchstwert von $\sum E_i^2 \cdot t_i$ in (V/m) ² · min	Höchstwert von $\sum H_i^2 \cdot t_i$ in (A/m) ² · min	Höchstwert von $\sum S_i \cdot t_i$ in (W/m ²) · min
1 – 10	2,26 · 10 ⁶ / f ²	143 / f ²	(–)
10 – 30	22,6 · 10 ³	143 / f ²	(–)
30 – 400	22,6 · 10 ³	0,16	60
400 – 2000	56,5 · f	0,4 · 10 ⁻³ · f	0,15 · f
2000 – 300000	113 · 10 ³	0,8	300

E_i, H_i	gemessener oder berechneter Effektivwert der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke während des i-ten Intervalls
S_i	gemessener oder berechneter Mittelwert der Leistungsdichte während des i-ten Intervalls
t_i	Dauer des i-ten Intervalls

Tabelle 10: Spitzenwerte im Bereich erhöhter Exposition (Expositionszeiten < 6 Minuten)

Frequenzbereich f / MHz	Spitzenwert der elektrischen Feldstärke in V/m	Spitzenwert der magnetischen Feldstärke in A/m	Spitzenwert der Leistungsdichte in W/m ²
0,091 – 0,1	2222	10 / f	(–)
0,1 – 0,2	22222 · f	10 / f	(–)
0,2 – 0,3	22222 · f	50	(–)
0,3 – 3	6667	50	(–)
3 – 10	20000 / f	150 / f	(–)
10 – 30	2000	150 / f	(–)
30 – 400	2000	5	10000
400 – 2000	100 · √f	0,25 · √f	25 · f
2 000 – 300 000	4472	11,2	50000

2.3.2 Zulässige Werte im Expositionsbereich 2

Tabelle 11: Werte im Expositionsbereich 2 bei Expositionszeiten ³ 6 Minuten

Frequenzbereich f / MHz	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in V/m	Effektivwert der magnetischen Feldstärke in A/m	Mittelwert der Leistungsdichte in W/m ²
0,091 – 0,14	333,3	16,8	(–)
0,14 – 0,826	333,3	2,35 / f	(–)
0,826 – 10	275 / f	2,35 / f	(–)
10 – 30	27,5	2,35 / f	(–)
30 – 400	27,5	0,073	2
400 – 2000	1,375 · √f	3,64 · √f · 10 ⁻³	f / 200
2000 – 300000	61,5	0,163	10

2.3.3 Zulässige Werte für hochfrequente Ströme im Frequenzbereich 10 MHz bis 110 MHz

Im Frequenzbereich von 10 MHz bis 110 MHz können im menschlichen Körper hochfrequente Ströme eingekoppelt werden, durch die die SAR-Werte in den Extremitäten überschritten werden können. Aus diesem Grund werden zusätzlich zu den Feldstärken die Ströme durch die Extremitäten begrenzt.

Tabelle 12: Zulässige Werte für eingekoppelte hochfrequente Ströme

Expositionsbereich	Zulässiger Strom in mA
Expositionsbereich 1	100
Expositionsbereich 2	45

2.3.4 Bewertung der Exposition bei elektromagnetischen Feldern mit mehreren Frequenzen

In elektromagnetischen Feldern unterschiedlicher Frequenzen werden unzulässige Expositionen im Frequenzbereich von 91 kHz bis 300 GHz vermieden, wenn die nachfolgenden Bedingungen eingehalten sind.

$$\sum_k \left(\frac{E_k}{E_{a,k}} \right)^2 \leq 1; \quad \sum_k \left(\frac{H_k}{H_{a,k}} \right)^2 \leq 1; \quad \sum_k \left(\frac{S_k}{S_{a,k}} \right)^2 \leq 1$$

Darin bedeuten

E_k, H_k gemessene oder berechnete spektrale Effektivwerte der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärken gemittelt über jedes 6-Minuten-Intervall

S_k Mittelwert der Leistungsdichte gemittelt über jedes 6-Minuten-Intervall

$E_{a,k}, H_{a,k}, S_{a,k}$ zulässige Werte der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärken und der Leistungsdichte nach Tabelle 8 und 11.

2.4 Zulässige Werte für mittelbare Wirkungen

Die zulässigen Werte für Körperströme und Berührungsspannungen sind in Tabelle 13 angegeben.

Tabelle 13: Zulässige Körperströme und Berührungsspannungen

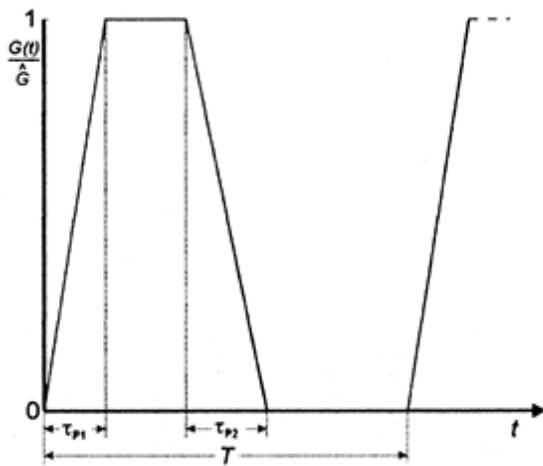
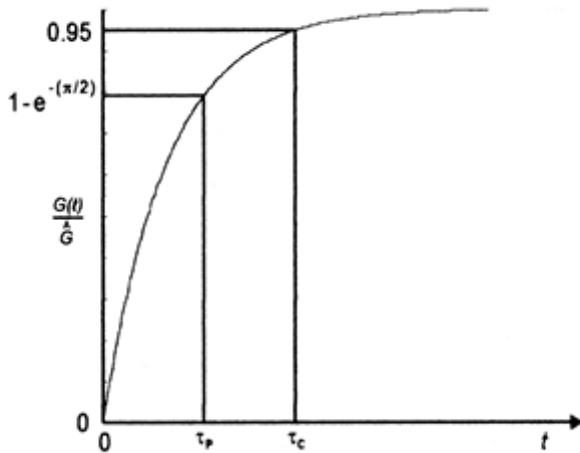
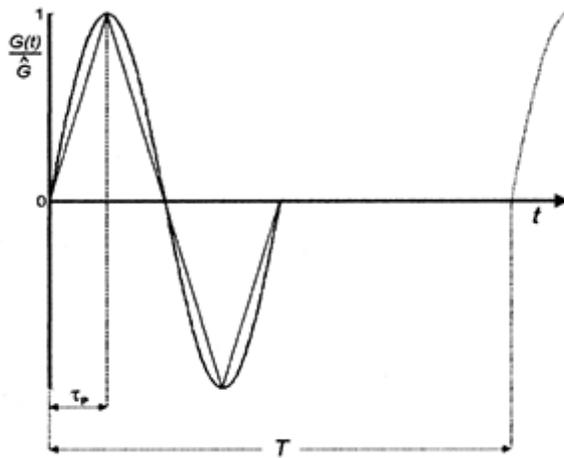
Frequenz f	Zulässiger Körperstrom in mA	Zulässige Berührungsspannung in V
0 Hz	10	60
$1 \text{ Hz} \leq f < 100 \text{ Hz}$	3,5	25
$100 \text{ Hz} \leq f < 2 \text{ kHz}$	$1,75 \cdot (f / \text{kHz}) + 3,3$	25
$2 \text{ kHz} \leq f < 3,8 \text{ kHz}$	$1,4 \cdot (f / \text{kHz}) + 4,2$	25
$3,8 \text{ kHz} \leq f < 12 \text{ kHz}$	$1,4 \cdot (f / \text{kHz}) + 4,2$	$1,05 \cdot (f / \text{kHz}) + 20,5$
$12 \text{ kHz} \leq f < 28 \text{ kHz}$	$1,75 \cdot (f / \text{kHz})$	$1,05 \cdot (f / \text{kHz}) + 20,5$
$28 \text{ kHz} \leq f < 100 \text{ kHz}$	50	$1,05 \cdot (f / \text{kHz}) + 20,5$
$100 \text{ kHz} \leq f < 1 \text{ MHz}$	50	125

Die in Tabelle 13 enthaltenen Werte für zulässige Körperströme und für zulässige Berührungsspannungen gelten nicht für die Beeinflussung von Rohrleitungsnetzen und Netzen der Telekommunikation bzw. der Signaltechnik, in die durch parallel verlaufende Starkstromanlagen der Bahn und der elektrischen Energieversorgung Spannungen eingekoppelt werden.

3 Gepulste Felder

Für gepulste Felder, die aus einer zeitlichen Abfolge von sinus-, trapez-, dreieckförmigen oder exponentiellen Einzel- oder Mehrfachpulsen und Pausen oder Gleichfeldanteilen bestehen, kann eine vereinfachte Bewertung mit den Festlegungen der nachfolgenden Abschnitte vorgenommen werden.

3.1 Frequenzbereich 0 Hz bis 91 kHz



Diese Felder werden durch folgende zusätzliche Kenngrößen 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	Zeitliche Dauer eines Impulses bzw. Impulszuges mit anschließender Pause.
T_I	Integrationszeit, wobei gilt: $T_I = \begin{cases} T & \text{für } T \leq 1\text{s} \\ 1\text{s} & \text{sonst} \end{cases}$
t_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 t_p bei exponentiellen Signalverläufen ist gemäß obiger Abbildung vorzunehmen. Sind die einzelnen Zeitdauern t_{pi} unterschiedlich, so sind alle diese Werte t_{pi} für die weiteren Berechnungen heranzuziehen.
t_{pmin}	Kleinster Wert aller Zeitdauern t_{pi} : $t_{pmin} = \min(t_{pi})$
t_c	Hilfsgröße zur Beschreibung exponentieller Signalverläufe. Sind die einzelnen Zeitdauern t_{ci} unterschiedlich, so sind alle diese Werte t_{ci} für die weiteren Berechnungen heranzuziehen.
t_D	Zeitliche Summe aller Feldänderungen i im Zeitintervall T_I . Es gilt für: – sinus-, dreieck- und trapezförmige Signalverläufe: $\tau_D = \sum_i \tau_{pi}$ – exponentielle Signalverläufe: $\tau_D = \sum_i \tau_{ci}$
f_p	Frequenz der Feldänderung, wobei gilt: $f_p = \frac{1}{4 \cdot \lambda_{pmin}}$
V	Gewichtungsfaktor, wobei gilt: $V = \begin{cases} \sqrt{T_I/\tau_D} & \text{für } \sqrt{T_I/\tau_D} \leq V_{max} \\ V_{max} & \text{sonst} \end{cases}$
V_{max}	maximaler Gewichtungsfaktor. Grundsätzlich gilt: $V_{max} = 8$.

Unter folgenden Voraussetzungen kann beim Betrieb von Magnetresonanz-Anlagen in Wissenschaft und Forschung und bei medizinischen Anwendungen der maximale Gewichtungsfaktor vergrößert werden, wenn

- die verbindlichen Beschaffenheitsanforderungen nationaler Rechtsvorschriften, die einschlägige Gemeinschaftsvorschriften umsetzen, von der Anlage erfüllt werden,

- für die Arbeitsplätze Gefährdungsanalysen nach dem Arbeitsschutzgesetz unter besonderer Beachtung der Gefahren durch EM-Felder durchgeführt und dokumentiert werden,
- die notwendigen Schutzmaßnahmen getroffen sind,
- sie unter fachkundiger ärztlicher Aufsicht oder in Anwesenheit eines Sachkundigen durchgeführt werden.

Die Werte für die zulässigen zeitlichen Änderungen der magnetischen Flussdichte für gepulste Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 91 kHz sind in der Tabelle 14 angegeben. Gleichzeitig dürfen die in Tabelle 15 angegebenen, jeweils über die Zeitdauer t_{Pmin} gemittelten Werte der zeitlichen Änderungen der magnetischen Flussdichte nicht überschritten werden.

Tabelle 14: Maximal zulässige zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition

Frequenzbereich f_P / Hz	Maximal zulässige zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte in T/s	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
0 – 1	$0,6 \cdot f_P \cdot V$	$1,1 \cdot f_P \cdot V$
1 – 1000	$0,6 \cdot V$	$1,1 \cdot V$
1000 – 48500	$6 \cdot 10^{-4} \cdot f_P \cdot V$	$1,1 \cdot 10^{-3} \cdot f_P \cdot V$
48500 – 91000	$6 \cdot 10^{-4} \cdot f_P \cdot V$	$55 \cdot V$

Tabelle 15: Mittlere zulässige zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte im Expositionsbereich 1 und im Bereich erhöhter Exposition, gemittelt über die Zeitdauer t_{pmin}

Frequenzbereich f_p / Hz	Mittlere zulässige zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte in T/s	
	Expositionsbereich 1	Bereich erhöhter Exposition 2 h/d
0 – 1	$0,38 \cdot f_p \cdot V$	$0,72 \cdot f_p \cdot V$
1 – 1000	$0,38 \cdot V$	$0,72 \cdot V$
1000 – 48500	$3,8 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$0,72 \cdot 10^{-3} \cdot f_p \cdot V$
48500 – 91000	$3,8 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot V$	$35 \cdot V$

Für Extremitäten dürfen die in Tabelle 14 und 15 angegebenen Werte um den Faktor 2,5 überschritten werden.

Die maximal zulässigen Spitzenwerte der magnetischen Flussdichte bei gepulsten Magnetfeldern ergeben sich aus den Werten der Tabelle 15 durch Multiplikation mit dem Faktor t_{pmin} bzw. aus den Werten der Tabellen 3 und 6 durch Multiplikation mit dem Ausdruck $\sqrt{2} \cdot V$.

3.2 Frequenzbereich 91 kHz bis 300 MHz

Bei gepulsten Feldern sind bei Anwendung der Tabelle 9 für Effektivwerte und Tabelle 10 für Spitzenwerte die Basiswerte der Tabelle 1 eingehalten.

4 Anwendung der Basiswerte

Bei Verzicht der Anwendung der abgeleiteten Werte für Ganzkörperexposition ist sicherzustellen, dass unter allen auftretenden Bedingungen die Basiswerte eingehalten sind. Dabei werden die Basiswerte der Tabelle 1 als zusätzliche Sicherheit mit den Faktoren der nachfolgenden Tabelle 16 multipliziert.

Tabelle 16: Reduktionsfaktoren zur Bewertung mit Basiswerten

Frequenz	Expositionsbereich 1	Expositionsbereich 2
0 Hz – 91 kHz	0,6	0,2
91 kHz – 300 GHz	1,0	0,2

Im Bereich erhöhter Exposition sowie für Teilkörperexposition sind die Basiswerte nach Tabelle 1 sicher einzuhalten.

Anlage 2

Zulässige Werte für Anlagen mit hohen statischen Magnetfeldern

Tabelle 1: Zulässige Werte für die statische magnetische Flussdichte

Exposition	Magnetische Flussdichte
Mittelwert für 8 h (gemittelt über den ganzen Körper)	212 mT
Spitzenwert für Kopf und Rumpf	2 T
Spitzenwert für Extremitäten	5 T

Im Bereich von Wissenschaft und Forschung und im Einzelfall bei medizinischer Anwendung dürfen die Werte in Tabelle 2 angewendet werden, wenn der Betreiber der Anlage sicherstellt, dass

- die verbindlichen Beschaffenheitsanforderungen nationaler Rechtsvorschriften, die einschlägigen Gemeinschaftsvorschriften umsetzen, von der Anlage erfüllt werden,
- für die Arbeitsplätze Gefährdungsanalysen nach dem Arbeitsschutzgesetz unter besonderer Beachtung der Gefahren durch EM-Felder durchgeführt und dokumentiert werden,
- die notwendigen Schutzmaßnahmen getroffen sind,
- Tätigkeiten unter fachkundiger ärztlicher Aufsicht oder in Anwesenheit eines Sachkundigen durchgeführt werden.

Tabelle 2: Zulässige Werte für die statische magnetische Flussdichte unter Berücksichtigung besonderer Voraussetzungen

Exposition	Magnetische Flussdichte
Spitzenwert für Kopf und Rumpf (maximal 2 h/d)	4 T
Bei Expositionen größer 2 h/d gilt Tabelle 1 Spitzenwert für Extremitäten	10 T

¹Zu diesem Zeitpunkt wurde diese Unfallverhütungsvorschrift erstmals von einer Berufsgenossenschaft in Kraft gesetzt.

²Über jedes Flächenelement von 1 cm² senkrecht zur Stromrichtung sowie über jedes Zeitintervall von 1 s zu mitteln;

³Über jedes 6 Minuten-Intervall arithmetisch zu mitteln;

⁴Mittelungsmasse 10 g;

⁵Trägerfrequenz $f > 300$ MHz und Pulslänge $T < 30$ µs;

⁶Über jedes Flächenelement von 20 cm² und jedes Zeitintervall von jeweils $68/f^{1,05}$ -Minuten (f in GHz) zu mitteln;

⁷Die maximale örtliche Leistungsdichte gemittelt über jedes Flächenelement von 1 cm² darf 1 kW/m² nicht überschreiten;

⁸Mittelungsmasse 10 g;

⁹ f in Hz;

¹⁰ f in kHz;

¹¹ f in kHz;

¹²Über Flächenelemente von 100 cm² zu mitteln

¹³Werte oberhalb von 67,9 mT dürfen nur unter Beachtung von § 14 angewendet werden.

¹⁴Werte oberhalb von 67,9 mT dürfen nur unter Beachtung von § 14 angewendet werden.

¹⁵Über Flächenelemente von 100 cm² zu mitteln

¹⁶Über Flächenelemente von 100 cm² zu mitteln

¹⁷Über Flächenelemente von 100 cm² zu mitteln