

	DIN EN IEC 62822-3 (VDE 0545-24)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

ICS 25.160.30

Einsprüche bis 2022-02-17

EntwurfVorgesehen als Ersatz für
DIN EN IEC 62822-3
(VDE 0545-24):2018-09

**Elektrische Schweißeinrichtungen –
Bewertung in Bezug auf Begrenzungen der Exposition von Personen gegenüber
elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz) –**

**Teil 3: Widerstandsschweißeinrichtungen
(IEC 26/729/CD:2021);**

Text Deutsch und Englisch

Electric welding equipment –

Assessment of restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) –

Part 3: Resistance welding equipment

(IEC 26/729/CD:2021);

Text in German and English

Matériels de soudage électrique –

Évaluation des restrictions relatives à l'exposition humaine aux champs électromagnétiques (0 Hz à 300 GHz) –

Partie 3: Matériels de soudage par résistance

(IEC 26/729/CD:2021);

Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-12-17 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 121 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS)

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 26/729/CD:2021-08 „Electric welding equipment – Assessment of restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) – Part 3: Resistance welding equipment“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom IEC/TC 26 „Electric welding“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf FprEN nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine "JA/NEIN"-Entscheidung möglich ist, wobei eine "NEIN"-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/K 361 "Elektroschweißen" der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnichtsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN IEC 62822-3 (VDE 0545-24):2018-09** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Einbeziehung der Unsicherheiten in die Ergebnisse der Bewertung;

- b) Vereinfachung der Verfahren zur Expositionsbewertung;
- c) vollständige Überarbeitung des Inhalts.

	Inhalt	Seite
1	Anwendungsbereich	8
2	Normative Verweisungen	8
3	Begriffe, Größen, Einheiten und Konstanten.....	9
3.1	Begriffe	9
3.2	Größen und Einheiten	11
3.3	Konstanten	11
4	Anforderungen.....	11
5	Bewertungsverfahren	11
5.1	Allgemeines	11
5.2	Verfahren, die auf externen Magnetfeldern basieren.....	13
5.2.1	Allgemeines	13
5.2.2	Bewertung anhand des gemessenen Magnetfelds	13
5.2.3	Bewertung anhand des berechneten Magnetfelds.....	15
5.3	Verfahren auf der Grundlage der Bewertung von Körpergrößen (Basisgrenzwerte).....	17
5.3.1	Allgemeines	17
5.3.2	Verfahren auf der Grundlage von Koppelfaktoren	17
5.3.3	Verfahren auf der Grundlage des Korrektionsfaktors.....	19
5.3.4	Verfahren auf der Grundlage der Simulation eines Modells des Menschen	20
5.3.5	Vergleich der Ergebnisse	22
6	Messtechnische Überlegungen	22
6.1	Messgeräte für Magnetfelder oder Expositionswerte	22
6.1.1	Allgemeines	22
6.1.2	Sonde(n).....	22
6.1.3	Tragbares Feldmessgerät	23
6.1.4	Messsystem mit separaten Elementen	23
6.2	Messgeräte zur Aufzeichnung	24
6.2.1	Schweißstromaufzeichnung	24
6.2.2	Aufzeichnung des Magnetfelds	24
6.3	Signalverarbeitung (anwendbar für jede Wellenform des Schweißstroms)	24
6.3.1	Allgemeines	24
6.3.2	Anwendung der gewichteten Spitzenwertmethode im Zeitbereich	25
6.3.3	Räumliche Mittelwertbildung	25
6.3.4	Zeitliche Mittelwertbildung	25
6.4	Unsicherheit der Bewertung	25
7	Rechnerische Bewertungsmethoden	25
7.1	Allgemeines	25
7.2	Quasi-statische Näherung.....	26
7.3	Modelle des Menschen für die numerische Simulation.....	26
7.4	Rechnerische Bewertung anhand der Basisgrenzwerte	27

8	Quellenmodell	28
8.1	Allgemeines	28
8.2	Beispiel für ein Quellenmodell	28
9	EMF-Datenblatt und Bewertungsbericht	29
Anhang A (informativ) Beispiel für die Bewertung anhand der einzelnen Komponenten		31
A.1	Allgemeines	31
A.2	Schweißstromquelle	31
A.3	Koppelfaktor des Schweißstromkreises	33
A.4	Schweißsystem	35
Anhang B (informativ) Datenblätter		37
B.1	Datenblatt Stromquelle	37
B.2	Datenblatt des Schweißstromkreises	38
B.3	Datenblatt für die gesamte Anordnung	39
Anhang C (informativ) Koppelfaktoren-Verfahren		42
C.1	Kurzbeschreibung	42
C.2	Validierung des Verfahrens	42
C.2.1	Kontext	42
C.2.2	Basisgrenzwert gegenüber gesundheitlichen Auswirkungen	43
C.2.3	Basisgrenzwert gegenüber sensorischen Wirkungen	43
C.3	Schlussfolgerung	44
Anhang D (informativ) Verfahren mit Korrektionsfaktoren		45
D.1	Allgemeines	45
D.2	Kurzbeschreibung	45
D.3	Beispiel für die Ermittlung von Korrektionsfaktoren	45
D.3.1	Kontext	45
D.3.2	Faktor des Expositionsquotienten für den Rumpf und die Gliedmaßen	46
D.3.3	Faktor des Expositionsquotienten für den Kopf	46
D.4	Schlussfolgerung	47
Anhang E (normativ) Anwendung		48
E.1	Beschreibung	48
E.2	Ergebnis der Simulation	49
E.3	Expositionsbewertungen	50
E.3.1	Verfahren auf der Grundlage der Berechnung des Magnetfelds (5.2.3)	50
E.3.2	Verfahren auf der Grundlage von Koppelfaktoren (5.3.2)	50
E.3.3	Verfahren auf der Grundlage des Korrektionsfaktors (5.3.3)	50
E.3.4	Verfahren auf der Grundlage des Modells des Menschen (5.3.4)	51
E.4	Schlussfolgerung	51
Anhang F (informativ) Numerische Simulationsverfahren		52
F.1	Allgemeines	52
F.2	SPFD-Verfahren	52

F.3	Quasistatik – Finite-Elemente-Methode	52
F.4	Impedanzverfahren.....	53
F.5	Hybridverfahren aus FEM- und SPFD-Verfahren	54
F.6	Berechnung des magnetischen Vektorpotentials	54
Anhang G (informativ)	Mittelungsalgorithmen	55
G.1	Mittelung der Stromdichte über eine Fläche	55
G.1.1	Allgemeines	55
G.1.2	Berechnung der Stromdichte in einem kartesischen Voxel.....	55
G.1.3	Berechnung der Stromdichte in einem Tetraeder	56
G.1.4	Berechnung von J_{av}	56
G.2	E-Feld-Mittelung in einem kubischen Volumen.....	56
G.3	E-Feld-Mittelung entlang einer Mittelungsstrecke	57
G.3.1	Allgemeines	57
G.3.2	Algorithmus zur Ermittlung des Integrationswegs	58
Anhang H (informativ)	Zuordnungstabelle zwischen Zeitbereich und Frequenzbereich.....	59
Literaturhinweise.....		61

Bilder

Bild 1 – Flussdiagramm für das Bewertungsverfahren.....	12
Bild 2 – Expositionsmessung am Kopf	14
Bild 3 – Expositionsmessung am Rumpf	14
Bild 4 – Expositionsmessung an den Gliedmaßen (Hände und Oberschenkel)	15
Bild 5 – Konformitätsbereiche nach Referenzwerten (Auslösewerte, AL).....	16
Bild 6 – Konformitätsbereiche nach Basisgrenzwerten (Expositionsgrenzwerte, ELV)	19
Bild 7 – Durch Quellenmodellierung ermitteltes magnetisches Feld rund um den menschlichen Körper	21
Bild 8 – Beispiel eines induzierten elektrischen Feldes in einem menschlichen Körper, der der Exposition einer Schweißzange ausgesetzt ist ($I = 1 \text{ kA} - 50 \text{ Hz}$).....	22
Bild 9 – In einer rechteckigen Schleifenanordnung ($a \times b$) fließender Schweißstrom.....	28
Bild A.1 – Bewertung eines gesamten Schweißsystems.....	31
Bild A.2 – Typische Bewertung auf der Grundlage von einzelnen Komponenten.....	31
Bild A.3 – Stromwellenformen von LF-AC (links) und MF-DC (rechts)	32
Bild A.4 – Kombierter Expositionsgrenzwert für die sensorischen und gesundheitlichen Wirkungen, die am Kopf anwendbar sind	32
Bild A.5 – Laufende Expositionsquotienten über der Zeit für zwei Schweißtechnologien.....	33
Bild A.6 – Geometrie der stationären Punktschweißzange	34
Bild A.7 – Modell des Schweißstromkreises und ein Anhaltspunkt entlang der X-Achse	34
Bild A.8 – Koppelfaktoren über der x-Achse.....	35
Bild A.9 – Expositionsquotient (AL) über der x-Achse.....	35
Bild A.10 – Expositionsquotient (ELV) über der x-Achse	36
Bild B.1 – Datenblatt der Stromquelle.....	37

Bild B.2 – Datenblatt der Elektrodenanordnung	38
Bild B.3 – Datenblatt des Schweißsystems	39
Bild B.4 – Datenblatt des Schweißsystems (Fortsetzung)	40
Bild B.5 – Datenblatt des Schweißsystems (Fortsetzung)	41
Bild C.1 – Verteilung der Expositionsquotienten zwischen dem Modell des Menschen und dem Scheibenmodell (gesundheitliche Auswirkungen ELV auf Rumpf und Hände)	43
Bild C.2 – Verteilung der Expositionsquotienten zwischen dem Modell des Menschen und dem Scheibenmodell (sensorische und gesundheitliche Auswirkungen ELV am Kopf)	43
Bild D.1 – Verteilung des Korrekturfaktors k_E für gesundheitliche Auswirkungen auf Rumpf und Hände	46
Bild D.2 – Verteilung des Korrekturfaktors k_E für die (sensorischen und gesundheitlichen) Auswirkungen auf den Kopf	46
Bild E.1 – Magnetfeld-Verteilung um den exponierten Körper	48
Bild E.2 – Konfiguration und Verteilung des elektrischen Feldes beim exponierten Körper (bei 1 kA und $f = 50$ Hz)	48
Bild E.3 – Verteilung des elektrischen Feldes auf den Händen (bei 1 kA und $f = 50$ Hz)	49
Bild G.1 – Feldkomponenten an Voxelkanten	56

Tabellen

Tabelle 1 – Modelle des Menschen, die für die Bestimmung induzierter elektrischer Felder im Niederfrequenzbereich geeignet sind	26
Tabelle A.1 – Laufender Expositionsquotient für die AC-LF-Technologie ($I_W = 11,4$ kA)	33
Tabelle A.2 – Laufender Expositionsquotient für die Allgemeinbevölkerung für die AC-LF-Technologie ($I_W = 11,4$ kA)	33
Tabelle C.1 – Repräsentativer Scheibenradius (geometrisches Modell)	42
Tabelle C.2 – Koppelfaktor	44
Tabelle E.1 – Koppelfaktoren beim Modell des Menschen	49
Tabelle E.2 – Ergebnisse der Berechnung des Magnetfelds	50
Tabelle E.3 – Ergebnisse auf der Grundlage von Koppelfaktoren	50
Tabelle E.4 – Ergebnisse auf der Grundlage des Korrekturfaktors	50
Tabelle E.5 – Ergebnisse auf der Grundlage des Modells des Menschen	51
Tabelle H.1 – Beschreibung der Zusammenhänge	59
Tabelle H.2 – Erläuterung der Symbole	60

**Elektrische Schweißeinrichtungen –
Bewertung in Bezug auf Begrenzungen der Exposition von Personen gegenüber
elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz) –
Teil 3: Widerstandsschweißeinrichtungen**

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 62822 gilt für Betriebsmittel zum Widerstandsschweißen und artverwandte Prozesse, die für die berufliche Verwendung durch Fachkräfte und den Gebrauch durch Laien gebaut sind.

Ganz allgemein gilt dieses Dokument für Betriebsmittel, bei denen der Schweißstrom in einem Stromkreis fließt, dessen Geometrie nicht verändert werden kann, unabhängig von der Technologie des Stromerzeugers (z. B. LF-AC, MF-DC für Punkt- oder Rollenahtschweißen oder kapazitive Entladung für Bolzenschweißen).

ANMERKUNG 1 Typische artverwandte Prozesse sind Widerstands-Hart- und Weichlöten oder Widerstandserwärmen mit zu Widerstandsschweißeinrichtungen vergleichbaren Mitteln.

Dieses Dokument legt Verfahren zur Bewertung der Exposition von Personen gegenüber magnetischen Feldern, die von Widerstandsschweißeinrichtungen erzeugt werden, fest. Es deckt nichtthermische biologische Wirkungen in einem Frequenzbereich von 0 Hz bis 10 MHz ab und definiert genormte Prüfverfahren.

ANMERKUNG 2 Die allgemeine Benennung „Feld“ wird in diesem Dokument durchgängig für „Magnetfeld“ verwendet.

ANMERKUNG 3 Für die Bewertung der Exposition gegenüber elektrischen Feldern und thermischen Wirkungen gelten die in IEC 62311 oder relevanten Grundnormen festgelegten Verfahren.

Dieses Dokument dient dazu, Verfahren für die Bereitstellung von EMF-Expositionsdaten vorzuschlagen, die zur Bewertung des Arbeitsplatzes herangezogen werden können, insbesondere wenn die Nutzungsbedingungen des Betriebsmittels nicht bekannt sind. Wenn diese technisch bedingt sind (z. B. wenn eine Zweihandsteuerung die Position und Haltung des Bedieners vorschreibt), können die Daten direkt verwertet werden, wenn sie in den vom Hersteller oder Integrator angegebenen Bereich fallen.

Für Produkte, für die dieses Dokument gilt, können weitere Normen gelten. Insbesondere ist dieses Dokument weder dafür vorgesehen, elektromagnetische Verträglichkeit mit anderen Einrichtungen nachzuweisen, noch spezifiziert es andere Produktsicherheitsanforderungen als jene, die sich speziell auf die Exposition von Personen durch elektromagnetische Felder beziehen.

In diesem Dokument werden mehrere Verfahren zur Bewertung der EMF-Exposition vorgeschlagen, von einfachen bis hin zu anspruchsvollen. Im Umkehrschluss ist das letztere auch das präziseste.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 61786-1, *Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings – Part 1: Requirements for measuring instruments*

IEC 61786-2, *Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings – Part 2: Basic standard for measurements*

IEC 62226-2-1, *Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range – Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body – Part 2-1: Exposure to magnetic fields – 2D models*

IEC 62311, *Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz – 300 GHz)*

IEC 62233, *Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure*

IEC 62822-1, *Electric welding equipment – Assessment of restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) – Part 1: Product family standard*

EN 50527, *Procedure for the assessment of the exposure to electromagnetic fields of workers bearing active implantable medical devices – Part 2-2: Specific assessment for workers with cardioverter defibrillators (ICDs)*

3 Begriffe, Größen, Einheiten und Konstanten

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-851, IEC 60974-1, IEC 60974-6 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

Basisgrenzwert

en **basic restrictions**

Grenzwerte für die Exposition von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern, die direkt auf anerkannten gesundheitlichen Wirkungen und biologischen Gegebenheiten beruhen. Die Basisgrenzwerte werden auch als dosimetrische Referenzwerte (DRL, en: dosimetric reference limits) und Expositionsgrenzwerte (ELV, en: exposure limit values) bezeichnet.

3.1.2

Koppelfaktor

en **coupling coefficient**

Der Koppelfaktor CC_{YX} stellt eine Zuordnung her, die es ermöglicht, Y aus X abzuschätzen. Zum Beispiel gibt CC_{EI} das maximale induzierte elektrische Feld innerhalb eines Bereichs des menschlichen Körpers entsprechend dem Schweißstrom eines Gerätes an.

Anmerkung 1 zum Begriff: Unter Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit ist eine Umrechnung zwischen CC_{JI} und CC_{EI} oder CC_{JB} und CC_{EB} mit der in Gleichung (1) angegebenen Beziehung möglich:

$$J(j\omega) = \sigma(j\omega) \cdot E(j\omega) \quad (1)$$

Dabei ist

- σ die Leitfähigkeit, in Siemens je Meter;
- E die elektrische Feldstärke, in Volt je Meter
- ω gleich $2 \cdot \pi \cdot f$

3.1.3

Expositionsquotient

EI

en **exposure index**

Ergebnis der Expositionsbewertung (sinusförmiger und nicht-sinusförmiger) elektromagnetischer Felder, ausgedrückt als Bruchteil oder Prozentsatz der zulässigen Werte

Anmerkung 1 zum Begriff: Bruchteile von mehr als 1 (100 %) stehen für ein Überschreiten der zulässigen Werte.

3.1.4

Allgemeinbevölkerung

en **general public**

Personen jeden Alters und mit unterschiedlichem Gesundheitszustand

3.1.5

inkorporal

en **intracorporeal**

innerhalb des Körpers gelegen oder auftretend

3.1.6

Laie

en **layman**

Bediener, der nicht in Ausübung seines Berufs schweißt und nur geringfügig oder nicht im Schweißen unterwiesen ist

[IEC 60050-851, 851-11-14, modifiziert – „Lichtbogenschweißen“ wurde durch „Schweißen“ ersetzt]

3.1.7

nichtthermische Wirkung

en **non-thermal effects**

Stimulation der Muskeln, Nerven oder Sinnesorgane als Ergebnis der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern

3.1.8

berufliche Exposition

en **occupational exposure**

Exposition von Arbeitnehmern in elektromagnetischen Feldern an ihren Arbeitsplätzen, üblicherweise unter bekannten Bedingungen und als Ergebnis der Durchführung ihrer regelmäßigen oder zugeordneten Tätigkeiten

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Arbeitnehmer ist eine von einem Arbeitgeber angestellte Person, einschließlich Praktikanten und Auszubildenden.

3.1.9

Referenzwert

en **reference level**

direkt messbare Größe, abgeleitet von Basisgrenzwerten für die praktische Durchführung der Expositionsbeurteilung. Referenzwerte werden auch als Expositionsreferenzwerte (ERL, en: exposure reference level) und Auslöseschwelle (AL, en: action level) bezeichnet.

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Einhalten der Referenzwerte stellt sicher, dass die entsprechenden Basisgrenzwerte eingehalten werden. Wenn die Referenzwerte überschritten werden, liegt aber nicht notwendigerweise eine Überschreitung der Basisgrenzwerte vor.

3.1.10

Widerstandsschweißsystem

en **resistance welding system**

Kombination aus Stromquelle, Transformator, Verkabelung und Schweißstromkreis

3.1.11

sensorische Wirkung

en **sensory effect**

vorrübergehend gestörte sensorische Wahrnehmungen und kleinere Änderungen der Gehirnfunktionen als Ergebnis der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern

3.1.12

Normanordnung

en **standardized configuration**

Anordnung, die die üblichen Positionen des Bedieners berücksichtigt

3.1.13

Normabstand

en **standardized distance**

Abstand zwischen der Achse eines Teils des Schweißstromkreises und der nächstgelegenen Oberfläche des Körpers bei Normanordnung

3.1.14**Schweißstromkreis**en **welding circuit**

leitfähiges Material, durch das der Schweißstrom fließen soll

Anmerkung 1 zum Begriff: Beim Widerstandsschweißen sind die Werkstücke für die Anwendung dieses Dokuments nicht Teil des Schweißstromkreises.

[QUELLE: IEC 60050-851, 851-14-10, modifiziert – Die beiden Anmerkungen zum Begriff wurden gestrichen, eine neue Anmerkung 1 zum Begriff hinzugefügt]

3.2 Größen und Einheiten

In diesem Dokument werden die international akzeptierten SI-Einheiten verwendet.

Formelzeichen in Fettschrift sind Vektorgößen.

Physikalische Größe	Symbol	Einheit	Einheitenzeichen
Elektrische Leitfähigkeit	σ	Siemens je Meter	S m ⁻¹
Elektrische Stromstärke	I	Ampere	A
Elektrische Stromdichte	J	Ampere je Quadratmeter	A m ⁻²
Elektrische Feldstärke	E	Volt je Meter	V m ⁻¹
Frequenz	f	Hertz	Hz
Magnetische Flussdichte	B	Tesla	T (V s m ⁻²)
Magnetische Permeabilität	μ	Henry je Meter	H m ⁻¹
Wellenlänge	λ	Meter	m

3.3 Konstanten

Physikalische Konstante	Symbol	Betrag	Einheitenzeichen
Permeabilität im Vakuum	μ_0	$4 \pi 10^{-7}$	H m ⁻¹

4 Anforderungen

Die Einrichtungen müssen bewertet werden wie in [Abschnitt 6](#) angegeben.

Die Bewertungen müssen den Vorgaben in [Abschnitt 7](#) entsprechen.

Wenn die Bewertung mittels berechneter externer Feldstärken erfolgt, muss 7.5 in Verbindung mit Abschnitt 5 angewendet werden.

Die Ergebnisse müssen aufgezeichnet werden wie in [Abschnitt 9](#) angegeben.

5 Bewertungsverfahren**5.1 Allgemeines**

Dieser Abschnitt enthält grundlegende Bewertungsverfahren für die direkten Auswirkungen elektromagnetischer Felder [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]. Die Bewertungen erfolgen entweder anhand von Basisgrenzwerten oder anhand von abgeleiteten Referenzwerten. In den internationalen Leitlinien werden unterschiedliche Werte für Basisgrenzwerte und Referenzwerte für Stimulationseffekte definiert, die für die Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern berücksichtigt werden.

Es gibt fünf Schritte, wie in Bild 1 beschrieben, um die Exposition von Schweißbetriebsmitteln zu bewerten und die Konformität mit den Referenzwerten und/oder Basisgrenzwerten nachzuweisen oder genügend Informationen zu liefern, um dies durchzuführen. Jeder der fünf Schritte kann ausgewählt werden, je nachdem, welcher für das Expositionsszenario am relevantesten ist.

Während die Bewertung auf der Grundlage der Messung der auftretenden Magnetfelder im Vergleich zu den Referenzwerten das einfachste Verfahren ist (5.2.2), kann die Bewertung auf der Grundlage des aus dem Schweißstrom berechneten Magnetfelds die Exposition vorausberechnen, und sie erfordert kein Feldmessgerät (5.2.3). Diese Verfahren sind notwendigerweise konservativer als die Bewertung der Exposition anhand der induzierten Größen gegenüber den Basisgrenzwerten.

Daher wird die Bewertung des internen (oder induzierten) elektrischen Felds und/oder der Stromdichte in Bezug auf die Basisgrenzwerte (5.3) unter realistischeren Expositionsbedingungen durchgeführt, wobei hauptsächlich die Heterogenität des Magnetfelds berücksichtigt wird.

Bewertungen von induzierten Feldern gegenüber Basisgrenzwerten unter Verwendung einfacher Modelle sind Übergangsmethoden (5.3.2 und 5.3.3). Da diese Verfahren eine große Anzahl von Situationen abdecken müssen, sind sie meistens konservativ und in Grenzfällen treffen sie richtig.

Die Bewertung der induzierten Felder im Hinblick auf die Basisgrenzwerte mit einem für den elektrischen Bereich repräsentativen menschlichen Körper ist schließlich die strengste. Sie erfordert eine numerische Simulation nach einer getreuen Modellierung der Umgebung (5.3.4).

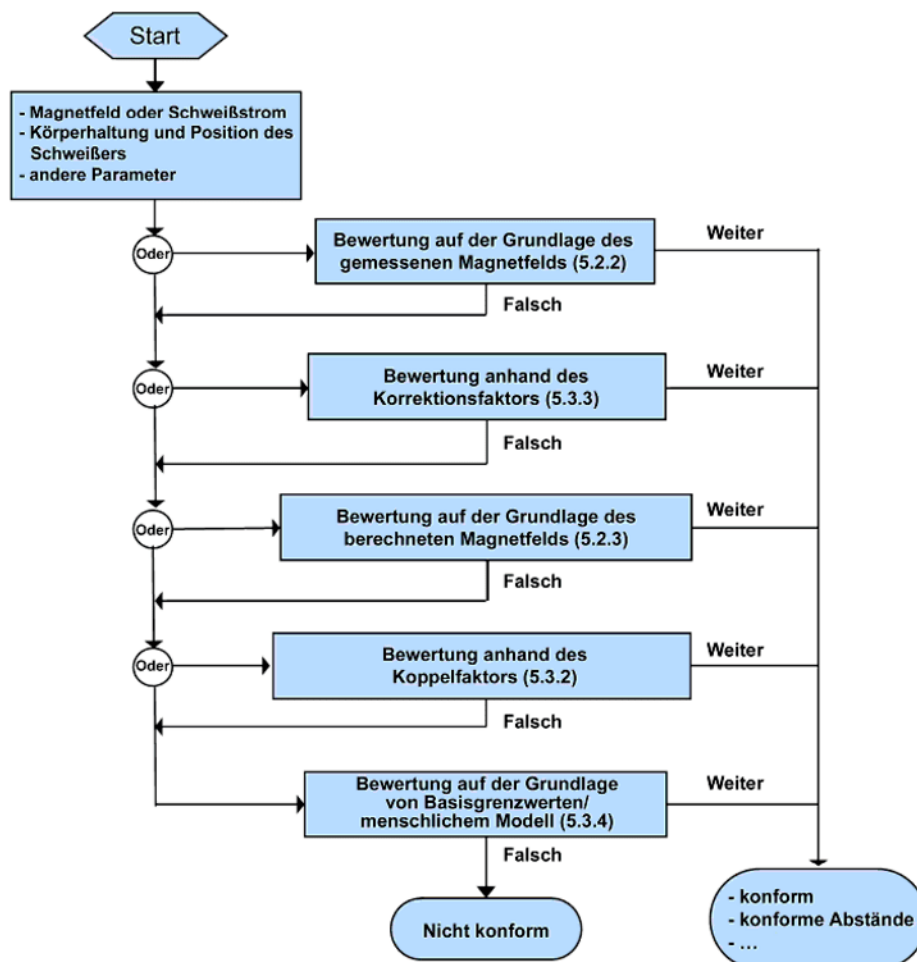


Bild 1 – Flussdiagramm für das Bewertungsverfahren

5.2 Verfahren, die auf externen Magnetfeldern basieren

5.2.1 Allgemeines

Die Bewertungen basieren auf externen (vorkommenden) Magnetfeldern im Vergleich zu Referenzwerten.

Die Referenzwerte wurden aus den Basisgrenzwerten abgeleitet, wobei die Bedingungen berücksichtigt wurden, unter denen die Exposition maximal wird (Ganzkörperexposition gegenüber einem gleichförmigen Feld). Eine solche Bewertung ist bei allen ungleichmäßigen und lokalen Expositionsbedingungen konservativ, was in den meisten beruflichen Expositionssituationen der Fall ist. Daher ist dieses Verfahren zwar einfach, aber es überbewertet meistens die Exposition von Schweißbetriebsmitteln.

Das Ergebnis ist eine Vergleichsbasis zwischen dem Magnetfeld und den für die betroffenen Körperregionen geltenden Expositionsgrenzwerten.

5.2.2 Bewertung anhand des gemessenen Magnetfelds

Dieses Verfahren ist geeignet, wenn der Einsatz der Betriebsmittel bekannt ist. Im Allgemeinen wird die Bewertung an einer oder zwei Schweißpositionen durchgeführt.

Die Exposition muss am Rumpf, in der Nähe des Kopfes, an beiden Händen und am Oberschenkel berücksichtigt werden, wenn diese dem Schweißstromkreis am nächsten sind. Dies führt zu vier, manchmal fünf, Messpunkten an jeder Schweißposition, wie in 5.2.2.1 bis 5.2.2.3 beschrieben. Der genaue Messpunkt ist der Ort, an dem der gemessene Pegel am höchsten ist (Worst-Case-Punkt). Im Allgemeinen liegt er dem Schweißstromkreis am nächsten. Der Messwert an diesem Punkt sollte zusammen mit der genauen Position im Prüfbericht festgehalten werden. Ein räumliches Bezugssystem muss vorgeschlagen werden.

In der Praxis ist ein Magnetfeldmessgerät in der Lage, entweder das Magnetfeld (in Tesla) oder direkt den Expositionsquotienten entsprechend dem jeweiligen Expositionsgrenzwert zu messen. Meistens verwendet das Messgerät die gewichtete Spitzenwertverfahren im Zeitbereich (Verfahren mit Effektivwertdetektor dürfen nicht im Niederfrequenzbereich verwendet werden). Dieses Verfahren ist für jede Wellenform des Magnetfelds (Sinus, Burst, gepulst, Rechteck ...) relevant. Sie berücksichtigt insbesondere die Transienten zum Beginn und Ende des Stromflusses. Das Messgerät wendet direkt die Beziehung [10] an:

$$EI_{RL} = \max |W_{RL}(t) * B(t)| \quad (2)$$

Dabei ist

* das Faltungsprodukt, d. h. die Filterung von $B(t)$ durch $W_{RL}(t)$

$W_{RL}(t)$ das Zeitverhalten einer für den Referenzwert relevanten Wichtungsfunktion $W_{RL}(f)$,

EI eine dimensionslose Zahl. Die Konformität ist gegeben, wenn sie gleich oder kleiner als 1 oder 100 % ist, wenn sie in Prozent ausgedrückt wird.

$W_{RL}(f)$ ist der inverse Spitzenwert des Expositionsgrenzwertes (Effektivwert von B_{RL}) bei der Frequenz f , d. h.

$$W_{RL}(f) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot B_{RL}(f)}$$

Die Sonde wird an der Körperregion oder an bestimmten Stellen des Betriebsmittels, z. B. am Schweißpistolengriff, angebracht. Sie kann auch mit einem Klettband am Helm, an den Handschuhen oder an der Schürze befestigt werden. Ein geeignetes Kabel zur Verbindung der Sonde mit dem Detektor kann z. B. bei beengten Arbeitsverhältnissen oder zur Vermeidung von Unannehmlichkeiten für die Schweißer verwendet werden.

Die Ergebnisse lassen Rückschlüsse auf die Konformität mit den Referenzwerten in der vorliegenden Situation zu.

5.2.2.1 Exposition des Kopfes

Die Messungen müssen nach Bild 2 vorgenommen werden. Der Messpunkt befindet sich rund um den Kopf (Lage des zentralen Nervensystems im Kopf) in der kürzesten Entfernung zum Schweißstromkreis.

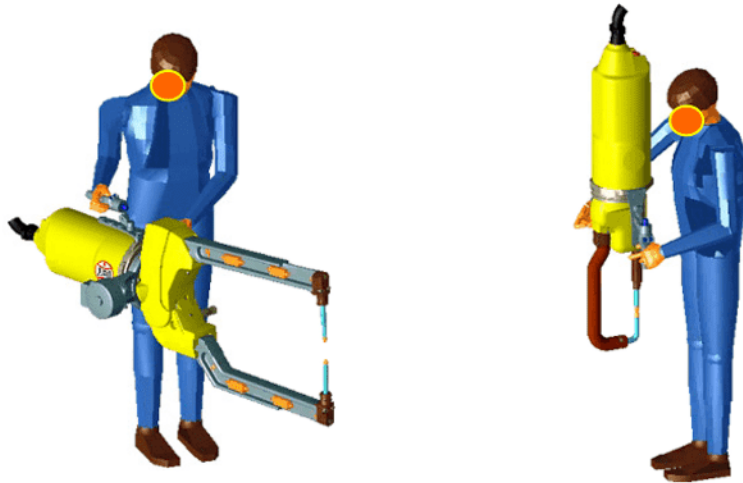


Bild 2 – Expositionsmessung am Kopf

5.2.2.2 Exposition des Rumpfes

Die Messungen müssen in Übereinstimmung mit Bild 3 durchgeführt werden. Der Messpunkt liegt rund um den Rumpf an der Stelle, die dem Schweißstromkreis am nächsten liegt (Brust, Bauch, Hüfte oder Schulter ...). Im Allgemeinen befindet sich der am stärksten exponierte Bereich entlang der Mittelachse des Stromkreises.



Bild 3 – Expositionsmessung am Rumpf

5.2.2.3 Exposition der Gliedmaßen

Die Messungen müssen in Übereinstimmung mit Bild 15^{N1} durchgeführt werden. Die Messpunkte befinden sich auf beiden Handrücken (Steuerhand/rechte Hand und Handgriff/linke Hand). Die Sonde kann an den Griffen befestigt werden. Ein zusätzlicher Punkt muss berücksichtigt werden, wenn der Schweißstromkreis näher am Oberschenkel als am Rumpf liegt, wie in Bild 4 dargestellt.

^{N1} Nationale Fußnote: Fehler im IEC-Original. Gemeint ist Bild 4.

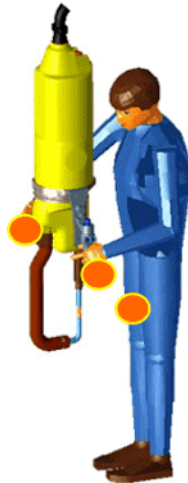


Bild 4 – Expositionsmessung an den Gliedmaßen (Hände und Oberschenkel)

5.2.3 Bewertung anhand des berechneten Magnetfelds

Dieses Verfahren ist vorteilhaft, wenn die Einsatzbedingungen der Betriebsmittel nicht bekannt sind, wie z. B. bei Reparaturen, bei der Herstellung einzelner Baugruppen, wie z. B. Prototypen, oder wenn mehrere Personen dem Schweißer assistieren. In diesen Fällen gibt es keine vordefinierten Arbeitspositionen. Dieses Verfahren sollte auch vom Hersteller bevorzugt werden, um dem Betreiber die notwendigen Informationen zur Verfügung zu stellen.

Bei diesem Verfahren werden die Konformitätsbereiche rund um die Betriebsmittel festgelegt. Der Betreiber ist in der Lage, die Einhaltung der Anforderungen selbst zu bestimmen und gegebenenfalls Präventivmaßnahmen (als Mindestabstände) festzulegen.

Dieses Verfahren ermöglicht auch die Bestimmung von Expositionswerten im Vergleich zu Referenzwerten an einzelnen Stellen, wie in 5.2.2 beschrieben.

Das Verfahren besteht darin, die Wellenform des Schweißstroms mit einem geeigneten Messgerät nach 6.1.4.1 aufzuzeichnen (z. B. mittels eines Oszilloskops mit angeschlossener Strommesszange) und den Schweißstromkreis zu modellieren, wie in 8.2 für einen rechteckigen Stromkreis dargestellt. Der am stärksten exponierende Strom muss ausgewählt werden (bestimmt durch den maximalen Expositionswert, der an einer beliebigen Position und einem beliebigen Referenzwert, z. B. einem niedrigen Auslösewert, erreicht wird).

Das Modell der Feldquelle sollte auf den ursprünglichen CAD-Daten beruhen. Alternativ werden die Größe und die Position des Stromkreises (falls stationär) gemessen. Alle Abmessungen und Formen können nach oben gerundet werden (je größer der Schweißstromkreis, desto höher die Exposition).

Auf diese Weise wird das Magnetfeld im Raum rund um das Betriebsmittel entsprechend dem Verhältnis an jedem Punkt berechnet:

$$B(t) = CC_{BI}(t) \cdot I(t) \quad (3)$$

Dabei ist

$I(t)$ der Schweißstrom über die Zeit, in Ampere,

CC_{BI} der Koppelfaktor (in Tesla je Ampere) zwischen dem Schweißstrom und dem Magnetfeld. Er hängt nur von der Stromkreisgeometrie und der räumlichen Lage ab. Er kann an einem bestimmten Ort, entlang einer Achse oder im gesamten Raum rund um das Betriebsmittel berechnet werden. [Anhang A](#), Abschnitt A.3 enthält ein Beispiel.

$B(t)$ ermöglicht die Berechnung des Expositionsquotienten entsprechend dem jeweiligen Expositionsgrenzwert. Die [Gleichungen \(1\) und \(2\)](#) können kombiniert werden:

$$EI_{RL} = CC_{BI} \cdot \max |W_{RL}(t) * I(t)| \quad (4)$$

mit den vorherigen Bezeichnungen.

$\max |W_{RL}(t) * I(t)|$ repräsentiert den aktuellen Expositionsquotienten (CEI_{RL}) entsprechend dem Referenzwert, in A/T. Es handelt sich um einen konstanten Wert rund um das Betriebsmittel, der nur vom Strom abhängt. Er kann vom Hersteller der Schweißstromquelle bereitgestellt werden.

Die Übertragung der Verhältnisse in den Frequenzbereich ist in [Anhang H](#) angegeben.

Mit diesem Verfahren lassen sich Verläufe erstellen (Bild 5), die die Konformitätsbereiche z. B. für 4 Referenzwerte [\[9\]](#) zeigen, bei denen die Expositionsquotienten gleich 1 (100 %) sind:

- LAL: Niedriger Auslösewert. Dies ist die Belastungsgrenze für den Kopf, um sensorische Effekte zu verhindern.
- HAL: Hoher Auslösewert. Dies ist die Belastungsgrenze für den Kopf und den Rumpf, um gesundheitliche Auswirkungen zu vermeiden.
- Gliedmaßen-AL: Einwirkung auf die Gliedmaßen, wie in der europäischen Verordnung beschrieben. Dies ist die Belastungsgrenze für Hände, Arme und Oberschenkel, um gesundheitliche Auswirkungen zu vermeiden.
- GPRL: Referenzwert, der für die Allgemeinbevölkerung in Europa gilt [\[1\]](#). Dieser Grenzwert gilt auch für besonders gefährdete Arbeitnehmer, z. B. Träger von aktiven implantierbaren Medizinprodukten, wie in der Normenreihe IEC 50527 [\[12\]](#), [\[13\]](#), [\[14\]](#) empfohlen, sowie für Schwangere nach den nationalen Rechtsvorschriften. Es ist auch der Grenzwert, bei dem der Beitrag des Betriebsmittels nicht für die benachbarten Betriebsmittel berücksichtigt wird.

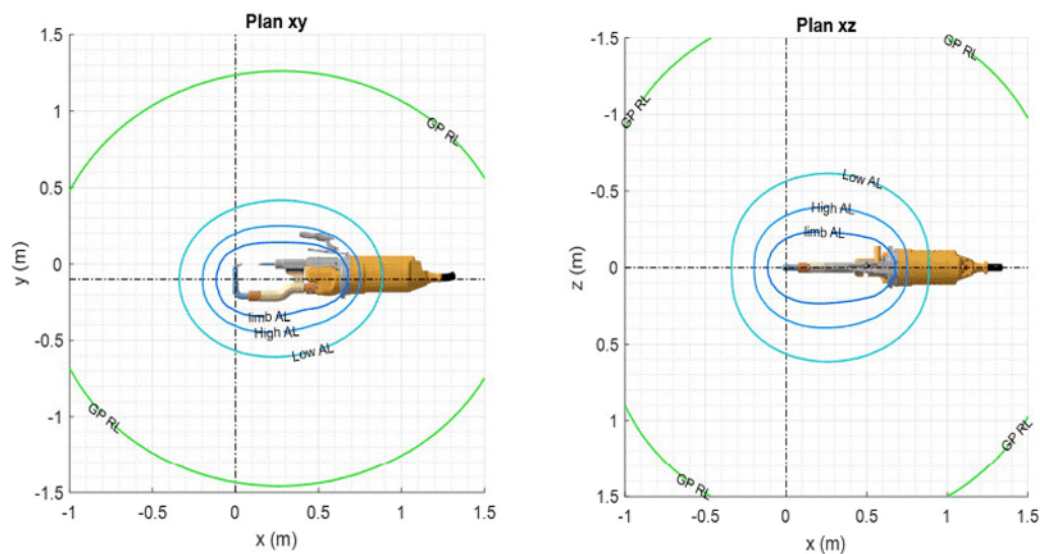


Bild 5 – Konformitätsbereiche nach Referenzwerten (Auslösewerte, AL)

- Niedriger AL: Niedriger Auslösewert zur Vermeidung sensorischer Beeinträchtigungen
- Hoher AL: Hoher Auslösewert zur Verhinderung gesundheitlicher Beeinträchtigungen an Rumpf und Kopf
- Gliedmaßen-AL: Auslösewert für Gliedmaßen, um gesundheitliche Beeinträchtigungen der Gliedmaßen zu verhindern
- GP RL: Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung, einschließlich des Schutzes der besonders gefährdeten Arbeitnehmer

Es ist möglich, Iso-Magnetfeldlinien darzustellen (z. B. für EMV-Zwecke).

Ein Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die Sicherheitsumfänge während des Konstruktionsprozesses festgelegt werden können, bevor das Material zur Verwendung bestellt wird.

5.3 Verfahren auf der Grundlage der Bewertung von Körpergrößen (Basisgrenzwerte)

5.3.1 Allgemeines

Die Referenzwerte für elektromagnetische Felder werden aus den Basisgrenzwerten abgeleitet, unter Berücksichtigung der maximalen Koppelbedingungen zwischen den Feldern und dem menschlichen Körper, d. h. der im menschlichen Körper, der den gleichförmigen elektromagnetischen Feldern ausgesetzt ist, maximal induzierten Größen. In vielen Situationen mit lokaler Exposition, z. B. in der Nähe von Betriebsmitteln, sind die Bewertungen zu konservativ, wenn das Maximum des Magnetfelds mit den Referenzwerten verglichen wird. Die Berücksichtigung von Basisgrenzwerten führt zu realistischeren Ergebnissen. Interne elektrische Felder oder Stromdichten im Niederfrequenzbereich (< 10 MHz), die durch das vorhandene Magnetfeld induziert werden, sind als körperliche Größen definiert. Sie sind schwer direkt zu messen. Ihre Bewertung erfolgt häufig anhand von Dosimetrieverfahren, die auf Berechnungen oder Simulationen beruhen. In einigen Fällen ist es möglich, die Messung der Magnetfelder rund um die Strahlungsquelle in diesen Ansatz einzubeziehen.

Diese vorgeschlagenen Verfahren sind möglich, da die Bedingungen für eine quasistatische Annäherung erfüllt sind (siehe 7.2). Darüber hinaus ist die Frequenzabhängigkeit in dem betrachteten Frequenzbereich linear.

Dosimetrieansätze schätzen die Exposition am besten ab, wobei die Bandbreite von relativ einfach bis hin zu recht anspruchsvoll reicht.

5.3.2 Verfahren auf der Grundlage von Koppelfaktoren

Diese Vorgehensweise ist eine Anpassung an IEC 62226-2-1 [16]. Der Ansatz basiert auf der Tatsache, dass das maximal induzierte elektrische Feld auf einer Scheibe (2D-Modell) im Zeitbereich durch eine einfache Gleichung analytisch abgeschätzt werden kann, wenn das Magnetfeld gleichförmig ist:

$$E_i(t) = \frac{R}{2} \cdot \frac{dB(t)}{dt} \quad (5)$$

Dabei ist

R der Radius einer Scheibe in Metern mit einer vorgegebenen Leitfähigkeit, der von dem Bereich des Körpers abhängt, für den eine Expositionsabschätzung erforderlich ist (siehe Anhang D),

dB/dt die zeitliche Ableitung von B (gleichförmige magnetische Flussdichte normal zur Ebene der Scheibe) in Tesla (T),

E_i das induzierte elektrische Feld in $V \cdot m^{-1}$.

ANMERKUNG Gleichung (1) ermöglicht die Berechnung der Stromdichte J aus dem induzierten elektrischen Feld E_i .

Wenn das Magnetfeld nicht gleichförmig ist, muss die maximale Magnetfeldstärke an der Oberfläche mit einem durch Simulation erhaltenen Faktor K multipliziert werden.

Anstatt diesen Faktor durch die Heterogenität des Magnetfelds auf einer Scheibe abzuschätzen, kann er numerisch durch das vorhandene Magnetfeld, das induzierte elektrische Feld (5) und den Vergleich mit dem in einem menschlichen Modell induzierten elektrischen Feld abgeleitet werden. Einzelheiten sind in Anhang C angegeben. Gleichung (5) wird:

$$E_i(t) = K \cdot \frac{R}{2} \cdot \frac{dB(t)}{dt} = CC_{EB/2D} \cdot \frac{dB(t)}{dt} \quad (6)$$

wobei $CC_{EB/2D}$ der Koppelfaktor zwischen der Ableitung des Magnetfelds und dem induzierten elektrischen

Feld ist (in $\frac{V \cdot m^{-1}}{T \cdot Hz}$). Er hängt von der räumlichen Verteilung des Magnetfelds ab und berücksichtigt auch die

Größe des Körperbereichs, der sich in diesem Feld befindet.

Anhang C beschreibt eine Abschätzung des Faktors K und der Koppelfaktoren $CC_{EB/2D} = K \cdot \frac{R}{2}$.

Um konservativ vorzugehen und die Verarbeitung zu vereinfachen, wird das Magnetfeld-Modul $|B|$ anstelle der senkrechten Magnetfeld-Komponente berücksichtigt (die relative Ausrichtung entsprechend der Richtung der magnetischen Flussdichte kann ignoriert werden, da diese Bedingung den ungünstigsten Fall berücksichtigt, der das Ergebnis maximiert).

Kombiniert man Gleichung (6) mit $B(t)$ vom Modell des Schweißstromkreises nach Gleichung (3), so ergibt sich das induzierte elektrische Feld:

$$E_i(t) = CC_{EB/2D} \cdot CC_{BI} \cdot \max \left| W_{BR}(t) * \frac{I(t)}{dt} \right| \quad (7)$$

Was den Referenzwert betrifft, so ist der Expositionsquotient mit den Basisgrenzwerten

$$EI_{BR} = CC_{EB/2D} \cdot CC_{BI} \cdot \max \left| W_{BR}(t) * \frac{I(t)}{dt} \right| \quad (8)$$

Dabei werden

die vorhergehenden Bezeichnungen beachtet und $W_{BR}(t)$ das Zeitverhalten einer Wichtungsfunktion $W_{BR}(f)$ darstellt, die für die zu bewertenden Basisgrenzwerte relevant ist.

$W_{BR}(f)$ ist der inverse Spitzenwert des Expositionsgrenzwertes (Effektivwert von $E_{BR}(f)$) bei der Frequenz f , d. h.

$$W_{BR}(f) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot E_{BR}(f)}$$

$\max |W_{BR}(t) * I(t)|$ repräsentiert den aktuellen Expositionsquotienten (CEI_{BR}), bezogen auf den gewünschten Basisgrenzwert, in $\frac{A \cdot Hz}{V/m}$. Es handelt sich um einen konstanten Wert rund um das Betriebsmittel. Er kann vom Hersteller der Schweißstromquelle angegeben werden.

Daher kann EI_{BR} entweder anhand der Erfassung von $B(t)$ mit Gleichung (6) oder anhand der Erfassung von $I(t)$ mit Gleichung (8) berechnet werden. Im ersten Fall handelt es sich um eine Kombination aus Magnetfeldmessung und Berechnung. Sie kann bei wenigen Expositionspunkten angewendet werden (siehe Abschnitt A.1). Im zweiten Fall wird CC_{BI} durch Modellierung des Schweißstromkreises berechnet. Dies ermöglicht das Zeichnen von Konformitätsbereichen, wie in Bild 6 dargestellt.

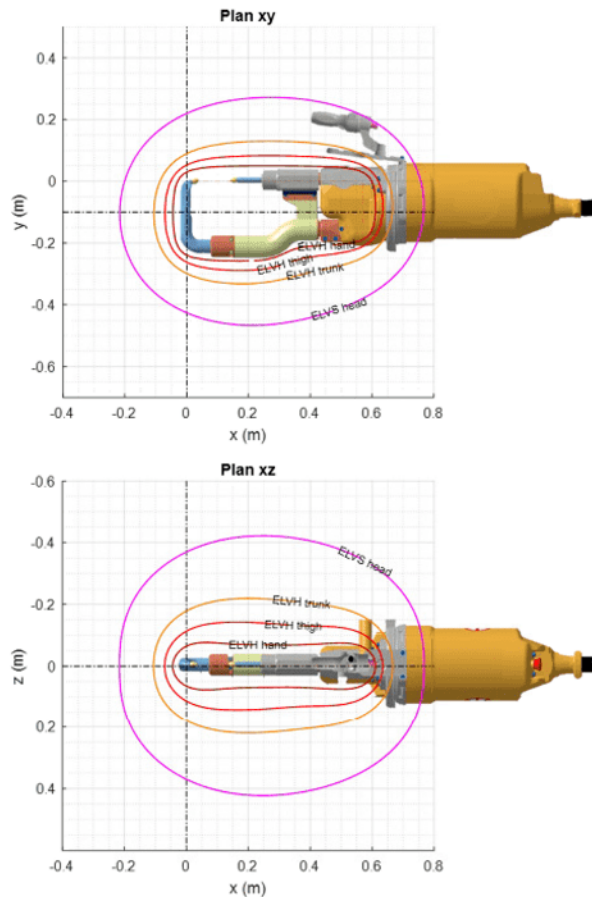


Bild 6 – Konformitätsbereiche nach Basisgrenzwerten (Expositionsgrenzwerte, ELV)

- ELVS Kopf: für den Kopf geltender Grenzwert für sensorische Wirkungen
- ELVH Rumpf: für den Rumpf geltender Grenzwert für gesundheitliche Auswirkungen
- ELVH Hand: für die Hände geltender Grenzwert für gesundheitliche Auswirkungen
- ELVH Oberschenkel: für die Oberschenkel geltender Grenzwert für gesundheitliche Auswirkungen

5.3.3 Verfahren auf der Grundlage des Korrektionsfaktors

Dieses allgemeine Verfahren ähnelt im Wesentlichen dem in 5.3.2 vorgestellten Verfahren. Es unterscheidet sich durch die Verwendung von EI_{RL} als Alternative zur Aufzeichnung des Magnetfelds oder des Stroms. Es wurde ursprünglich für Expositionsbewertungen bei niedrigen Frequenzen in IEC 62226-2-1 [16] und IEC 62311 [10] eingeführt und dann in IEC 62233 [15] angepasst. Das vorgeschlagene Konzept der Konformität für Stromdichten, kann auf das induzierte elektrische Feld erweitert werden [17], [18].

Vorab wird ein Korrektionsfaktor k_E durch Gleichung (9) bestimmt.

$$k_E = \frac{EI_{BR}}{EI_{RL}} \quad (9)$$

Dabei ist

EI_{BR} der Expositionsquotient entsprechend dem Basisgrenzwert (z. B. ELV oder DRL);

EI_{RL} der Expositionsquotient entsprechend dem Referenzwert (z. B. AL oder ERL);

k_E dimensionslos.

EI_{RL} wird durch direkte Messung oder durch Berechnung aus dem Magnetfeld oder dem Strom bestimmt, wie bereits beschrieben, wobei auch der ungünstigste Fall berücksichtigt wird. Der Expositionsquotient, der durch direkte Messung ermittelt wird, muss mit einer Sonde von höchstens 3 cm² durchgeführt werden.

EI_{BR} wird durch Simulation mit einem Körpermodell bestimmt, wobei die Feldverteilung und die Abstände zum menschlichen Körper in der Nähe von Schweißbetriebsmitteln berücksichtigt werden. Auf der Grundlage zahlreicher Bewertungen werden konservative Werte für den Korrekturfaktor geschätzt (siehe [Anhang D](#)).

Daher ist k_E nur für Betriebsmittel zum Widerstandsschweißen bestimmt, unter Berücksichtigung der Auswirkungen von Feldungleichmäßigkeit. Dieser Faktor ist unabhängig von der Wellenform, der Stromstärke und der Magnetfeldfrequenz. Er führt zu einem konservativen Ergebnis.

Die Beurteilung der Konformität kann durch den Vergleich des multiplizierten Werts des gemessenen oder berechneten Expositionsquotienten mit dem Referenzwert des Magnetfelds und dem vordefinierten Faktor durchgeführt werden als

$$EI_{BR} = k_E \cdot EI_{RL} \quad (10)$$

Dabei ist

EI_{RL} der gemessene oder berechnete Expositionsquotient / Referenzwert

EI_{BR} der geschätzte Expositionsquotient / Basisgrenzwert

Das Magnetfeld oder die Stromwellenform beim Schweißen werden bei EI_{RL} berücksichtigt, wenn das Verfahren der gewichteten Spitzenwerte angewandt wird.

5.3.4 Verfahren auf der Grundlage der Simulation eines Modells des Menschen

Bei diesem Verfahren wird ein realistisches Modell des Menschen verwendet, um induzierte Größen zu berechnen, die für die realen Bedingungen am repräsentativsten sind.

Zur Ableitung der induzierten Größen stehen mehrere realistische Modelle des Menschen zur Verfügung. Das Modell eines erwachsenen Mannes mit einer maximalen Auflösung von 2 mm muss mindestens 50 verschiedene Gewebe umfassen, darunter mindestens Haut, weiße Hirnsubstanz und graue Hirnsubstanz. Jedes Gewebe hat einen bestimmten elektrischen Leitfähigkeitswert.

Zur Bestimmung der im menschlichen Körper induzierten Größen durch ein vorhandenes Magnetfeld, das von Schweißbetriebsmitteln ausgeht, können verschiedene Berechnungsverfahren angewandt werden. Beispiele sind das Impedanzverfahren und das SPFD-Verfahren. [Anhang E](#) gibt einen Überblick über die verschiedenen Berechnungsverfahren. Falls die dort gegebenen Informationen für die Anwendung nicht ausreichen, sollten die angegebenen Quellen konsultiert werden.

Gemessene Magnetfelddaten können direkt für das Impedanzverfahren verwendet werden. SPFD verwendet Vektorpotentiale für die Berechnung des internen elektrischen Feldes. Vektorpotentiale werden vorzugsweise durch Berechnung aus dem Quellenmodell oder standardmäßig durch Messung des magnetischen Felds (H) oder der magnetischen Flussdichte (B) an festgelegten Stellen des von dem exponierten Körper eingenommenen Volumens gewonnen.

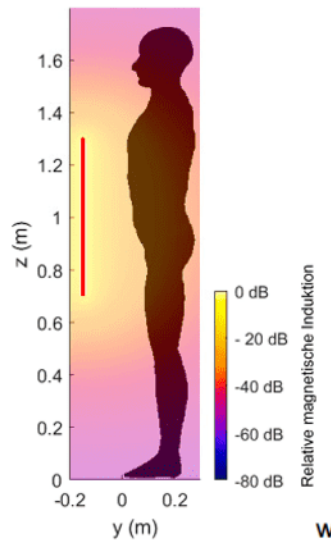


Bild 7 – Durch Quellenmodellierung ermitteltes magnetisches Feld rund um den menschlichen Körper

Der allgemeine Ansatz zur Bewertung der induzierten Größen besteht aus:

- Modellierung des Magnetfeldes auf dem vom Modell (Schweißer) eingenommenen Volumen mit Auflösung des Netzes durch:
 - Erfassung des Schweißstroms und Modellierung des Schweißstromkreises aus CAD-Daten und/oder aus den Abmessungen, der Form und der Höhe über dem Boden,
 - dann Berechnung des Magnetfeldvektors.
 Oder
 - Erfassung des Magnetfeldvektors an mehreren Punkten des vom menschlichen Modell belegten Volumens,
 - Interpolation des erfassten Magnetfeldes auf das gesamte Volumen mit der Netzauflösung.
- falls erforderlich, wie bei SPFD, Berechnung des magnetischen Potentialvektors.
- Wahl des menschlichen Modells mit seinen physikalischen und elektrischen Eigenschaften. Bei der Frequenz muss die Leitfähigkeit der Schweißstromquelle berücksichtigt werden (z. B. 50 Hz bei einem Niederfrequenzgenerator oder 1 kHz bei einem Magnetfeldinverter).
- Berechnung des elektrischen Felds, wobei das Modell in das Magnetfeld eintaucht (siehe Bild 8).
- Wahl der Gewebe unter Berücksichtigung der Basisgrenzwerte, die auf die wissenschaftliche Grundlage zurückgehen (d. h. die zu vermeidenden gesundheitlichen und sensorischen Auswirkungen, wie in den ICNIRP-Basisgrenzwerten beschrieben).
- Berechnung des maximalen Mittelwerts der internen Größen in den ausgewählten Geweben für den Strom einer Einheit mit dem in Anhang G vorgeschlagenen Algorithmus. Dann Berechnung von $CC_{EI/HM}$

$$CC_{EI/HM} = \frac{\max |A_V EI|}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot I} \text{ in } \frac{V \cdot m^{-1}}{A \cdot Hz} \quad (11)$$

- Ermittlung des aktuellen Expositionsquotienten für die jeweiligen Basisgrenzwerte nach Gleichung (8).

$$CEI_{BR} = \max |W_{BR}(t) * I(t)| \text{ in } \frac{A \cdot Hz}{mV/m} \quad (12)$$

- Berechnung der Expositionsquotienten mit

$$EI_{BR} = CC_{EI/HM} \cdot CEI_{BR} \quad (13)$$

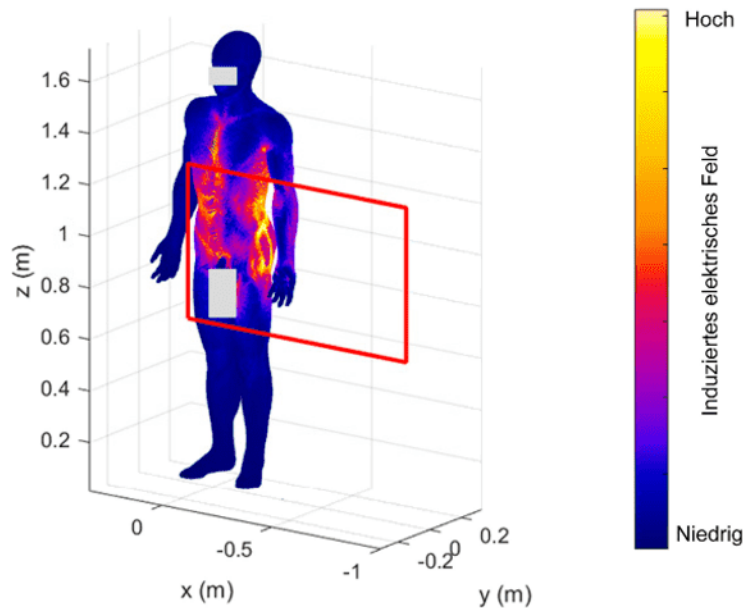


Bild 8 – Beispiel eines induzierten elektrischen Feldes in einem menschlichen Körper, der der Exposition einer Schweißzange ausgesetzt ist ($I = 1 \text{ kA} - 50 \text{ Hz}$)

5.3.5 Vergleich der Ergebnisse

Ein Vergleich der Ergebnisse der Verfahren befindet sich in [Anhang E](#).

6 Messtechnische Überlegungen

6.1 Messgeräte für Magnetfelder oder Expositionswerte

6.1.1 Allgemeines

Messgeräte für magnetische Felder oder Expositionswerte sind entweder ein tragbares Feldmessgerät oder ein Messsystem mit separaten Elementen. Beide sind in der Lage, Feldstärken oder Expositionsquotienten zu ermitteln.

Messungen der Umgebungspegel werden empfohlen, um das Vorhandensein von externen Feldern festzustellen. Einflüsse von Feldquellen, die nicht bewertet werden, müssen eliminiert oder zumindest minimiert werden. Im Allgemeinen führt eine Vergrößerung des Abstands zu externen Magnetfeldquellen zu einer drastischen Verringerung der Background-Feldstärke.

6.1.2 Sonde(n)

Wie in IEC 61786-2 [20] empfohlen, sind Sonden erforderlich, bei denen drei Sensoren senkrecht zueinander stehen. Eine solche Sonde hat den Vorteil, dass sie unabhängig von ihrer Ausrichtung Messungen durchführen kann. Einige Messsysteme können sogar vier Sonden enthalten.

Die Sonde(n) muss (müssen) die Anforderungen der IEC 61786-1 [19] erfüllen. Für Messungen in Abständen von weniger als 0,30 m zum Schweißstromkreis darf (dürfen) die Sonde(n) nur eine Fläche von maximal $3 \text{ cm}^2 \pm 0,6 \text{ cm}^2$ aufweisen. Sonden für Messungen in Abständen von mehr als 1,0 m zum Schweißstromkreis müssen eine Fläche von $100 \text{ cm}^2 \pm 0,6 \text{ cm}^2$ umfassen.

Die Feldstärke ergibt sich aus dem Modul der Effektivwerte der magnetischen Flussdichten der drei orthogonalen Achsen. Der Expositionsquotient muss mit dem Verfahren der gewichteten Spitzenwerte im Zeitbereich auf jeder Achse durchgeführt werden, bevor das Maximum erreicht wird.

6.1.3 Tragbares Feldmessgerät

Das tragbare Feldmessgerät muss eine Bandbreite von 10 Hz bis 400 kHz oder mehr haben.

Es muss ein Gerät mit Peak-Hold-Funktion verwendet werden. Die automatische Bereichswahl, sofern vorhanden, muss ausgeschaltet sein [10].

6.1.4 Messsystem mit separaten Elementen

6.1.4.1 Frequenzbereich und Abtastrate

Die Bewertungen müssen je nach Wellenform des Schweißstroms im entsprechenden Frequenzbereich und mit der entsprechenden Abtastrate vorgenommen werden.

Das Signal wird (im Zeitbereich) abgetastet während es digital verarbeitet wird, unabhängig von der Methodik. Die Abtastrate muss mindestens das Doppelte der oberen Frequenz des Signals betragen (Nyquist-Gesetz). Die maximale obere Frequenz im Rahmen dieses Dokuments beträgt 10 MHz.

Bei der niederfrequenten Exposition muss das Signal im Zeitbereich verarbeitet werden (außer der Frequenzbereich ist durch nationale Vorschriften zugelassen). Im Zeitbereich ist es leicht, das Minimum (Anstiegs-/Abfallzeit) zu berücksichtigen, dann die obere Frequenz abzuschätzen und dann die Abtastrate in sps zu wählen (sps steht für „sample per second“).

Die Abtastrate muss wie folgt sein:

- Gleich oder größer als 100 ksps für
 - $\min(\text{Anstiegs-/Abfallzeit}) \geq 1 \text{ ms}$
 - oder $dI/dt < 1\,000 \text{ A/ms}$
- Gleich oder größer als 1 Msps für
 - $1 \text{ ms} > \min(\text{Anstiegs-/Abfallzeit}) \geq 0.01 \text{ ms}$
 - oder $1 \text{ kA/ms} > dI/dt \geq 100 \text{ kA/ms}$
- Gleich oder größer als 10 Msps für
 - $\min(\text{Anstiegs-/Abfallzeit}) < 0.01 \text{ ms}$
 - oder $dI/dt > 100 \text{ kA/ms}$

$\min(\text{Anstiegs-/Abfallzeit})$ oder dI/dt werden entweder vom Hersteller auf der Grundlage seiner Kenntnisse der in seinem Gerät verwendeten Technologie angegeben oder durch die an der Wellenform des Schweißstroms festgestellte $\min(\text{Anstiegs-/Abfallzeit})$ oder dI/dt bestimmt.

Im Allgemeinen sind 100 ksps für alle LF-AC- und MF-DC-Schweißsysteme geeignet, die Thyristoren, IGBTs oder Inverter mit einer Schaltfrequenz von weniger als 10 kHz verwenden. 1 Msps ist für Kondensatorentladungs-Schweißanlagen relevant.

ANMERKUNG Diese Abtastraten beruhen auf früheren Erfahrungen mit Messungen an Betriebsmitteln zum Widerstandsschweißen.

Die festgelegte Abtastrate gilt für die Erfassung sowohl des Schweißstroms als auch des Magnetfelds.

6.1.4.2 Dauer

Für jede Bewertung, die eine Nachbearbeitung erfordert, ist es nicht notwendig, das Signal über einen langen Zeitraum zu erfassen.

Bei den Technologien LF-DC und MF-DC werden die Expositionswerte hauptsächlich durch den Beginn oder das Ende des Stromflusses und durch die vom Wechselrichter erzeugte Stromwelligkeit bestimmt. Bei LF-AC

können diese Werte mit einem einzelnen Stromstoß erreicht werden, der sich im Allgemeinen aus mehreren 50-Hz-Perioden zusammensetzt.

Im Allgemeinen reicht für diese beiden Fälle eine Aufzeichnung von einigen hundert Millisekunden für jeden Messpunkt aus.

Für Kondensatorentladungen werden weniger als zehn Millisekunden benötigt.

Abtaste, Dauer und Auflösung legen die Speichertiefe fest.

6.2 Messgeräte zur Aufzeichnung

6.2.1 Schweißstromaufzeichnung

Die für die Aufzeichnung des Schweißstroms verwendeten Messgeräte (Stromwandler und Oszilloskop) müssen mit der festgelegten Abtaste (6.1.4.1) für den gesamten Frequenzbereich und in Bezug auf Auflösung und Stromspitze geeignet sein.

Messwiderstände werden für derartige Messungen nicht empfohlen.

Die Messergebnisse müssen überprüft werden, um Rauschen oder Artefakte bei den Expositionsergebnissen auszuschließen. Ein mögliches Verfahren zur Validierung ist die Ableitung der maximalen Stromänderungsrate di/dt der Stromquelle vor der Auswertung der Daten.

6.2.2 Aufzeichnung des Magnetfelds

Die für die Aufzeichnung des Magnetfelds rund um das Betriebsmittel verwendeten Messgeräte (Sonde(n) nach 6.1.2 und Oszilloskope), müssen mit der festgelegten Abtaste für den gesamten Frequenzbereich und in Bezug auf Auflösung und Stromspitze geeignet sein.

Die Messergebnisse müssen überprüft werden, um Rauschen oder Artefakte bei den Expositionsergebnissen auszuschließen. Ein mögliches Verfahren zur Validierung ist die Ableitung der maximalen realistischen Feldänderungsrate dB/dt vor der Auswertung der Daten.

6.3 Signalverarbeitung (anwendbar für jede Wellenform des Schweißstroms)

6.3.1 Allgemeines

Für die Bewertung von gepulsten und nicht-sinusförmigen Feldern gibt es mehrere Verfahren. Für die Zwecke dieses Dokuments ist nur das Verfahren der gewichteten Spitzenwerte anwendbar, das in diesem Abschnitt beschrieben wird. Für weitere Informationen siehe [20] und [10]. Das Ergebnis dieser Berechnung ist der Expositionsquotient (EI).

ANMERKUNG Die Anwendung des Verfahrens der gewichteten Spitzenwerte im Zeitbereich oder im Frequenzbereich ist mathematisch gleichwertig und führt bei korrekter Anwendung zu genau den gleichen Ergebnissen.

Für die Bewertung muss der sich ergebende maximale EI -Wert über die Zeit verwendet werden.

Das Verfahren der gewichteten Spitzenwerte wird sowohl für Bewertungen auf der Grundlage externer Felder als auch für Bewertungen auf der Grundlage interner Größen verwendet.

Elektronische oder digitale Filter können verwendet werden, um die Wichtungsfunktionen zu realisieren, die die geltenden Grenzwerte darstellen.

Die Wichtungsfunktion im Zeitbereich wird mit Hilfe der Laplace-Transformation oder der Z-Transformation ermittelt.

Die Wichtungsfunktion muss einen Frequenzgang haben, der den geltenden nationalen und internationalen Anforderungen entspricht, so dass die Wichtung der Spektralkomponenten im Zeitbereich erfolgt.

6.3.2 Anwendung der gewichteten Spitzenwertmethode im Zeitbereich

Das gewichtete Spitzenwertverfahren im Zeitbereich führt eine Filterung (Wichtungsfunktionen) der drei Feldkomponenten im Zeitbereich getrennt, eine Summe und eine Detektion des Spitzenwerts über die Beobachtungszeit durch. Die Abtastrate muss nach 6.2.3 gewählt werden.

Zur Feststellung der Konformität darf der Expositionsquotient zu keinem Zeitpunkt innerhalb des Bewertungsintervalls den Wert 1,0 überschreiten.

Weitere Informationen zu diesem Verfahren sind in [10] und [11] zu finden.

6.3.3 Räumliche Mittelwertbildung

Die gemessenen Feldwerte dürfen über die exponierten Bereiche des Körpers räumlich gemittelt werden, wobei die Basisgrenzwerte für die inneren elektrischen Felder nicht überschritten werden dürfen. Andernfalls muss der höchste Wert genommen werden, d. h. derjenige, der dem Schweißstromkreis im exponierten Bereich am nächsten liegt.

6.3.4 Zeitliche Mittelwertbildung

Eine zeitliche Mittelwertbildung der Exposition für nichtthermische Wirkungen ist nicht zulässig, es sei denn, geltende nationale oder internationale Anforderungen legen ausdrücklich Verfahren zur zeitlichen Mittelwertbildung fest.

6.4 Unsicherheit der Bewertung

Die erweiterte Unsicherheit der Bewertung muss nach IEC 61786-2 [20] bestimmt werden.

Ist die erweiterte Unsicherheit höher als der in IEC 62822-1 festgelegte Wert, und für die Bewertung ist nicht nachgewiesen, dass sie konservative Werte liefert, muss das in IEC 62822-1 angegebene Verfahren zur Berechnung von Einschränkungen oder die Simulation mit einem Modell des Menschen angewandt werden.

7 Rechnerische Bewertungsmethoden

7.1 Allgemeines

Das innere elektrische Feld oder die Stromdichte muss für den Vergleich mit den Basisgrenzwerten durch numerische Simulation unter Verwendung eines repräsentativen Satzes von anatomischen Modellen des Menschen berechnet werden. Je nach elektrischer Größe des Problemkreises können die Berechnungen mit quasistatischen Verfahren durchgeführt werden. Diese Verfahren sind relevant, da beim Widerstandsschweißen niederfrequente Magnetfelder abgestrahlt werden.

Die wichtigsten Berechnungsverfahren für die Bewertung der Exposition auf den menschlichen Körper werden auf der Grundlage quasistatischer Näherungen aufgeführt.

- QS-FEM (quasistatische Finite-Elemente-Methode)
- SPFD (Skalar-Potential-Finite-Differenz)
- Impedanzverfahren
- hybride Verfahren.

Eine kurze Beschreibung der Berechnungsverfahren findet sich in Anhang F.

7.2 Quasi-statische Näherung

Die Abmessungen des exponierten Körperbereichs oder der Person, die Größe der Feldquelle und der Abstand zwischen ihnen sind klein im Vergleich zur niedrigsten Wellenlänge der obersten Frequenz des Feldes ($\sim 1/f$). Größen und Entfernungen erreichen höchstens ein paar Meter, während die Wellenlängen mindestens einige Kilometer betragen.

Dies ermöglicht die Anwendung von Berechnungsverfahren, die auf der quasi-statischen Näherung beruhen. Das bedeutet:

- es gibt keine Ausbreitungsphänomene,
- der Einfluss der im menschlichen Körper induzierten elektrischen Felder oder induzierten Ströme auf das vorhandene Magnetfeld wird als vernachlässigbar angenommen, d. h.:
 - vorhandene Felder und induzierte Felder können mit getrennten Berechnungsverfahren ausgewertet werden. Für die Berechnung der vorhandenen Magnetfelder können analytische oder quasi-analytische Methoden angewendet werden. Auf der anderen Seite kann die Simulation zur Berechnung der induzierten Größen in einem menschlichen Körper eingesetzt werden, und analytische oder quasi-analytische Methoden können auf geometrische Modelle angewendet werden.
 - Die Anwesenheit des Körpers verändert das vorhandene Magnetfeld nicht.
- Die im Körper induzierten Felder unterliegen dem vorhandenen Feld unmittelbar (der Verschiebungsstrom wird im Vergleich zum leitungsgebundenen Strom als vernachlässigbar angesehen). Die Leitfähigkeiten sind die relevanten Parameter für die Gewebe des Körpers.

7.3 Modelle des Menschen für die numerische Simulation

Die induzierte Stromdichte oder inkorporale elektrische Feldstärke kann durch numerische Simulation unter Verwendung eines menschlichen 3D-Körpermodells abgeleitet werden, bei dem die elektrischen Eigenschaften der verschiedenen Gewebe berücksichtigt werden. Beispiele für anatomische Modelle sind in Tabelle 1 mit ihren wichtigsten physikalischen Eigenschaften aufgeführt (die Bezeichnungen der Modelle sind in [21] erläutert).

Tabelle 1 – Modelle des Menschen, die für die Bestimmung induzierter elektrischer Felder im Niederfrequenzbereich geeignet sind

Modellbezeichnung	Höhe (m)	Gewicht (kg)
Erwachsener, männlich ICRP	1,76	73
UVIC	1,77	76
NORMAN	1,76	73
MAXWELL	1,76	73
DUKE	1,74	70
TARO	1,73	62
ALVAR	1,76	72

Das Modell muss die relevante Körperregion (z. B. Kopf, Rumpf oder Gliedmaßen) oder den gesamten Körper darstellen, um den nationalen und internationalen Anforderungen, insbesondere im Hinblick auf die Vielfalt der Expositionsgrenzwerte, zu entsprechen.

Die wichtigsten Anforderungen an diese Modelle sind die folgenden:

- Verfügbarkeit der Darstellung eines Schweißers (größere Körper haben in der Regel höhere induzierte Felder zur Kopplung mit niederfrequenten Magnetfeldern)

- individuelle Segmentierung der Gewebe des zentralen Nervensystems und der Haut (periphere Nervensysteme) zur Bewertung mit den jeweiligen Basisgrenzwerten
- verstellbare oder bewegliche Gliedmaßen für die Modellierung realistischer Expositionsszenarien (standardmäßig kann eine Körperregion extrahiert und mit einer repräsentativen Orientierung und Position exponiert werden).

7.4 Rechnerische Bewertung anhand der Basisgrenzwerte

Es gibt zwei Arten von Basisgrenzwerten: Expositionsgrenzwerte, die zur Verhinderung sensorischer Auswirkungen aufgrund der Stimulation des zentralen Nervensystems des Kopfes festgelegt wurden, und Expositionsgrenzwerte, die zur Verhinderung gesundheitlicher Auswirkungen aufgrund der Stimulation des zentralen Nervensystems (ZNS) und des peripheren Nervensystems (PNS) des gesamten Körpers festgelegt wurden.

Im ersten Fall sind die relevanten Organe das Gehirn (in einigen Körpermodellen in weiße und graue Substanz unterteilt), die Netzhaut und der Sehnerv. Das Rückenmark befindet sich überwiegend nicht im Bereich des Kopfes und wird daher bei der Betrachtung der sensorischen Wirkungen in den Expositionsgrenzwerten nicht berücksichtigt.

Im letzteren Fall sollte die Haut berücksichtigt werden: „Derzeit gibt es keinen Umrechnungsfaktor für peripheres Nervengewebe. Deshalb wurde die Haut, die periphere Nervenenden enthält, als Worst-Case-Zielgewebe gewählt.“ [3]. Daher wurden die folgenden Organe für die PNS-Expositionsgrenzwerte berücksichtigt: das Gehirn, die Netzhaut, der Sehnerv, das Rückenmark und die Haut. Es sei darauf hingewiesen, dass die Berücksichtigung aller Organe ein Kohärenzproblem zwischen den Modellen aufwerfen würde, weil das kritischste Organ vom Modell abhängt oder weil die Ergebnisse nicht für alle Organe vorliegen.

Um insbesondere numerische Singularitäten zu vermeiden, die unter den Maximalwerten sichtbar werden, empfehlen die Leitlinien [3] die Verwendung des 99. Perzentils der induzierten elektrischen Feldverteilung in jedem Gewebe als Kriterium für den Maximalwert. Dieser Wert führt jedoch zu einer Unterbewertung der Exposition, wenn das Magnetfeld sehr ungleichmäßig ist. Daher wird der maximale Mittelwert als konservativer Wert verwendet.

Dieser Mittelwert hängt nach den geltenden Sicherheitsrichtlinien hauptsächlich von Basisgrenzwerten ab, die in Form von Kenngrößen definiert sind:

- gemittelte Stromdichte auf einer Oberfläche [2] (G.1)
- gemittelttes elektrisches Feld in einem kubischen Volumen [3] (G.2)
- gemittelttes elektrisches Feld entlang einer Linie [5], [6], [7], [8] (G.3)

Allerdings können je nach der exponierten Körperregion unterschiedliche Grenzwerte gelten. Der numerische Code oder die angewandten Nachbearbeitungsverfahren müssen die erforderlichen Mittelungsverfahren implementieren. Da die Beschreibungen der Mittelungsalgorithmen in den Expositionsleitlinien, in denen sie beschrieben sind, im Allgemeinen nicht detailliert genug für eine Implementierung als Rechenalgorithmus sind, verweist dieses Dokument auf die entsprechenden numerischen Internationalen Normen, in denen sie beschrieben sind, oder legt eigene Algorithmen fest, wenn eine geeignete Festlegung an anderer Stelle nicht verfügbar ist. Einzelheiten sind in [Anhang G](#) aufgeführt.

Der Maximalwert stellt den Koppelfaktor zwischen einer Stromeinheit oder dem Magnetfeld und dem induzierten elektrischen Feld oder der Stromdichte dar, die in [Abschnitt 6](#) als CC_{EI} , CC_{EB} , CC_{JI} und CC_{JB} vorgestellt werden. Diese Werte, mit dem zeitlichen Verlauf des Stroms oder des Magnetfelds multipliziert, werden mit den Basisgrenzwerten verglichen, indem die Methode der gewichteten Spitzenwerte, wie in [Abschnitt 5](#) dargestellt, angewendet wird.

ANMERKUNG Da die Koppelphänomene im betrachteten Frequenzbereich linear sind, sind die Frequenz und die Amplitude des Schweißstroms oder des Magnetfelds, die für die Bewertung verwendet werden, nicht kritisch und können nach Bedarf beliebig geändert werden.

Numerische Simulationen können auch zur Bewertung der vorhandenen Felder in Bezug auf die Referenzwerte eingesetzt werden.

Alle Berechnungsalgorithmen sollten durch einen Vergleich zwischen analytischen Ergebnissen und Simulationsergebnissen auf ihre technisch korrekte Umsetzung überprüft werden. Dieser Vergleich ist direkt, wenn ein geometrisches Modell (wie Kugeln mit unterschiedlichen Leitfähigkeiten) in gleichmäßigen Feldern exponiert wird.

8 Quellenmodell

8.1 Allgemeines

Die Quelle elektromagnetischer Felder ist der durch den Schweißstromkreis fließende Schweißstrom, der ein niederfrequentes magnetisches Feld erzeugt. Dieses Feld ist in unmittelbarer Nähe der Betriebsmittel inhomogen.

Die Schweißstromparameter (d. h. Amplitude und Wellenform) sowie die Eigenschaften des Schweißstromkreises (d. h. Abmessungen) sind nur durch das Betriebsmittel bestimmt. Externe Faktoren, wie z. B. Eigenschaften des Werkstücks, können das Magnetfeld beeinflussen, werden in diesem Dokument aber nicht berücksichtigt.

Diese Annahme erlaubt die Anwendung faserförmiger Ströme und ermöglicht die Anwendung des Biot-Savart'schen Gesetzes

Das Quellenmodell ermöglicht die Berechnung des Magnetfelds rings um das Betriebsmittel und der Koppel-faktoren CC_{BI} .

8.2 Beispiel für ein Quellenmodell

Das einfachste Quellenmodell einer Schweißzange ist eine rechteckige Schleife (jede Form ist möglich, auch 3D).

Für Leiter, die eine rechteckige Schleife bilden, muss ein Quellenmodell nach Bild 9 verwendet werden.

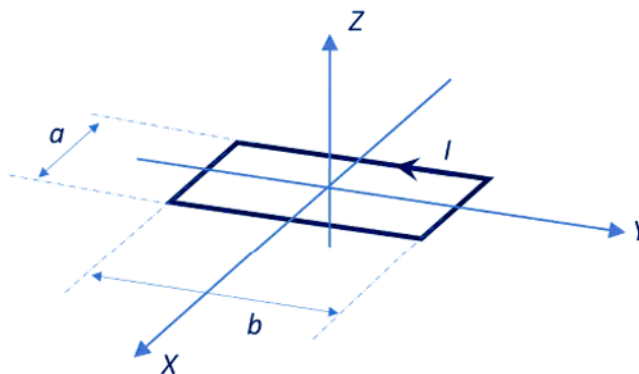


Bild 9 – In einer rechteckigen Schleifenanordnung (a x b) fließender Schweißstrom

Aufgrund der Eigenschaften der Feldverteilung müssen drei Abstände (x, y, z) zum Mittelpunkt des Leiters entlang der X-, Y- und Z-Achse berücksichtigt werden.

Die magnetische Flussdichte B jedes Beobachtungspunkts rund um das Modell wird mit Hilfe des Biot-Savart'schen Gesetzes berechnet. Der Magnetfeldvektor B ist in Gleichung (14) angegeben. Der Betrag von B ist in Gleichung (15) angegeben, mit:

- a : Abmessung der Schleife in X-Richtung, wie in Bild 9 dargestellt;
- b : Abmessung der Schleife in Y-Richtung, wie in Bild 9 dargestellt;
- x, y, z : Koordinaten des Beobachtungspunkts P auf der entsprechenden X-, Y- und Z-Achse.

$$x_0 = \frac{a}{2} - x \quad D_1 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z^2} \quad R_1 = \frac{\frac{x_0}{D_1} + \frac{x_1}{D_2}}{y_0^2 + z^2}$$

$$x_1 = \frac{a}{2} + x \quad D_2 = \sqrt{x_1^2 + y_0^2 + z^2} \quad R_2 = \frac{\frac{y_0}{D_2} + \frac{y_1}{D_3}}{x_1^2 + z^2}$$

$$y_0 = \frac{b}{2} - y \quad D_3 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z^2} \quad R_3 = \frac{\frac{x_1}{D_3} + \frac{x_0}{D_4}}{y_1^2 + z^2}$$

$$y_1 = \frac{b}{2} + y \quad D_4 = \sqrt{x_0^2 + y_1^2 + z^2} \quad R_4 = \frac{\frac{y_1}{D_4} + \frac{y_0}{D_1}}{x_0^2 + z^2}$$

Der Magnetfeldvektor $\mathbf{B}$ ergibt sich zu:

$$\mathbf{B}(x, y, z) = \begin{bmatrix} B_x(x, y, z) \\ B_y(x, y, z) \\ B_z(x, y, z) \end{bmatrix} = \frac{\mu_0 \cdot I}{4 \cdot \pi} \begin{bmatrix} z \cdot (R_4 - R_2) \\ z \cdot (R_1 - R_3) \\ R_1 \cdot y_0 + R_2 \cdot x_1 + R_3 \cdot y_1 + R_4 \cdot x_0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Der Betrag von B ergibt sich wie folgt:

$$B(x, y, z) = \sqrt{B_x(x, y, z)^2 + B_y(x, y, z)^2 + B_z(x, y, z)^2} \quad (15)$$

Wenn I eine Stromeinheit (1 A) ist, stellt $B(x, y, z)$ den Koppelfaktor dar, der I mit B in T/A verbindet und in [Abschnitt 5](#) als CC_{BI} bezeichnet wird. B ist frequenzunabhängig.

Der Magnetfeldvektor $\mathbf{B}$ wird zur Simulation am menschlichen Modell und insbesondere zur Berechnung des magnetischen Potentialvektors für das SPFD-Verfahren verwendet.

Diese Werte multipliziert mit dem Schweißstrom über die Zeit ergeben das Magnetfeld über die Zeit an der betrachteten Position.

Das Ergebnis muss mit den Referenzwerten unter Anwendung des Verfahrens der gewichteten Spitzenwerte nach [Abschnitt 5](#) verglichen werden, um den Expositionsquotienten zu erhalten.

9 EMF-Datenblatt und Bewertungsbericht

Der Inhalt des EMF-Datenblatts des Systems basiert auf den vorgeschriebenen Konformitätskriterien und den erforderlichen EMF-Daten für den Betreiber, wie sie in [IEC 62822-1](#) festgelegt sind, sowie auf der Entscheidung des Herstellers, zusätzliche Daten bereitzustellen, die über die vorgeschriebenen Informationen hinausgehen.

Die Mindestangaben, die bei der Bewertung des Systems erhoben werden müssen, sind in der nachstehenden Liste aufgeführt:

Für berufliche Nutzung:

- Wenn die Position und die Körperhaltung des Schweißers, der das Betriebsmittel benutzt, festgelegt oder bekannt sind:

- Expositionsquotienten für Kopf, Rumpf und Gliedmaßen und eine Bestätigung der Übereinstimmung
- Wenn die Konformität nicht nachgewiesen werden konnte, Entfernungen, in denen die Konformität erreicht wird.
- Wenn die Position und die Haltung des Schweißers und der Personen, die dem Schweißer assistieren, unbekannt sind.
- Mindestabstände zum Schweißstromkreis, um die Konformität in den drei Achsen zu erreichen, in denen die Exposition am höchsten ist (im Allgemeinen entlang einer Achse, die senkrecht zur Mitte des Kreises verläuft). Abstände für Kopf, Rumpf und Gliedmaßen müssen vorgesehen werden.
- Konformitätsumfänge
- Für Betriebsmittel, die anhand von Grenzwerten für die Exposition am Arbeitsplatz bewertet werden – der Abstand, bei dem der Expositionsquotient unter 100 % fällt, basierend auf den Referenzwerten für die Allgemeinbevölkerung;

Für die Nutzung durch Laien:

- Laien sind durch die Expositionsgrenzwerte der Allgemeinbevölkerung geschützt
- Abstände, bei denen der Expositionsquotient unter 100 % liegt, basieren auf den Referenzwerten.
- Wahlweise: Abstände, bei denen der Expositionsquotient unter 100 % fällt, basieren auf den Basisgrenzwerten.

ANMERKUNG 1 Alle Abstände beziehen sich auf die Mitte des leitenden Materials.

ANMERKUNG 2 Wenn geltende nationale und internationale Vorschriften Körperteile (z. B. Gliedmaßen) ausschließen, sind Angaben zu diesen Teilen möglicherweise nicht erforderlich.

Ein Beispiel für zusätzliche Informationen, die während der Bewertung aufgenommen werden können:

- Daten für mehrere Betriebsarten.

Die gesammelten Informationen müssen in einem EMF-Datenblatt dargestellt werden. Beispiele für EMF-Datenblätter, die auf den oben genannten Szenarien basieren, sind in [Anhang B](#) enthalten.

Anhang A (informativ)

Beispiel für die Bewertung anhand der einzelnen Komponenten

A.1 Allgemeines

Diese Norm ermöglicht eine Bewertung des gesamten Schweißsystems (Bild A.1) oder eine Bewertung auf der Grundlage der einzelnen Komponenten (Bild A.2).

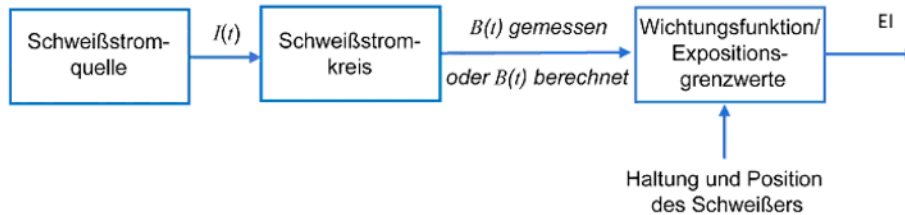


Bild A.1 – Bewertung eines gesamten Schweißsystems

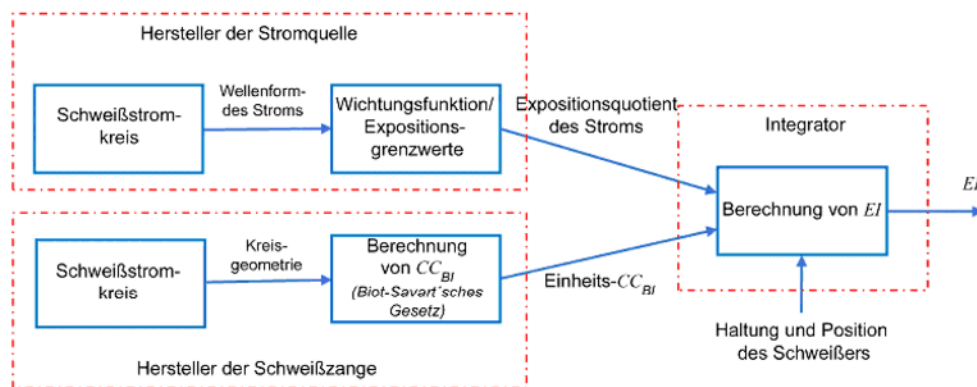


Bild A.2 – Typische Bewertung auf der Grundlage von einzelnen Komponenten

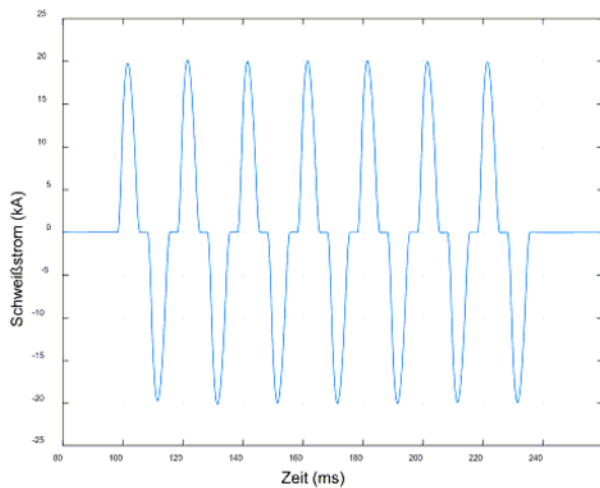
Dieser Anhang zeigt eine Bewertung auf der Grundlage von einzelnen Komponenten anhand der in [Abschnitt 5](#) beschriebenen Verfahren.

A.2 Schweißstromquelle

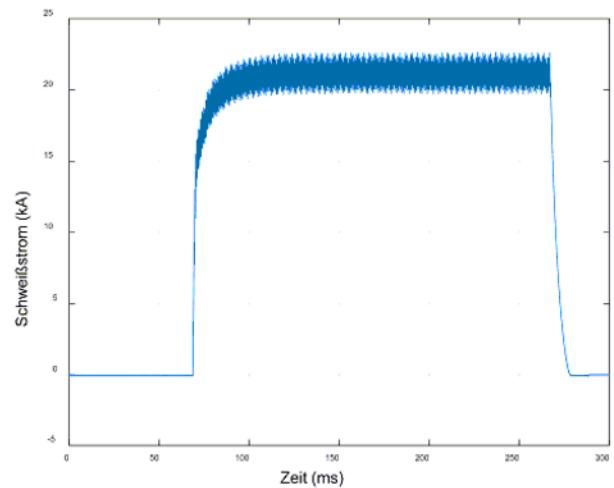
Der erste Schritt ist die Bestimmung der aktuellen Expositionsquotienten (CEI_{BR}) nach den Basisgrenzwerten (ELV) und Referenzwerten (AL) durch Anwendung des Verfahrens der gewichteten Spitzenwerte im Zeitbereich (x) und (y). Es handelt sich um einen konstanten Wert rund um das Betriebsmittel. Er kann vom Hersteller der Stromquelle bereitgestellt werden.

Der Schweißstrom muss erfasst werden, wie in [Abschnitt 7](#) beschrieben. Eine repräsentative Impedanzlast des Stromkreises sollte berücksichtigt werden. Sie kann aus einer Reihenschaltung eines Widerstands und einer Induktivität bestehen. Beispielwerte sind $0,35 \Omega$ und $0,8 \mu H$.

[Bild A.3](#) zeigt die Stromwellenform zweier verschiedener Technologien, die bei Widerstandsschweißanlagen üblich sind: LF-AC und MF-DC.



$$I_{\max} = 20,1 \text{ kA} \text{ \& } I_{\text{w}} = 11,4 \text{ kA}$$



$$I_{\max} = 22,7 \text{ kA} \text{ \& } I_{\text{w}} = 21 \text{ kA (inverter: 1 kHz)}$$

Bild A.3 – Stromwellenformen von LF-AC (links) und MF-DC (rechts)

Dann wird das Verfahren der gewichteten Spitzenwerte für diese Ströme nach den Expositionsgrenzwerten der Europäischen EMF-Arbeitnehmerrichtlinie 2013/35/EU [9] angewendet. Zur Veranschaulichung eines Ergebnisses (Bild A.2) wurde CEIBR in Verbindung mit dem Expositionsgrenzwert für Sensoreffekte gewählt.

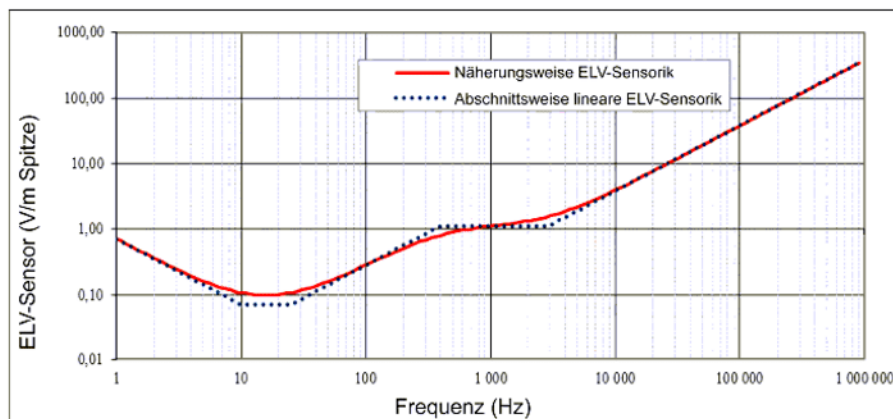
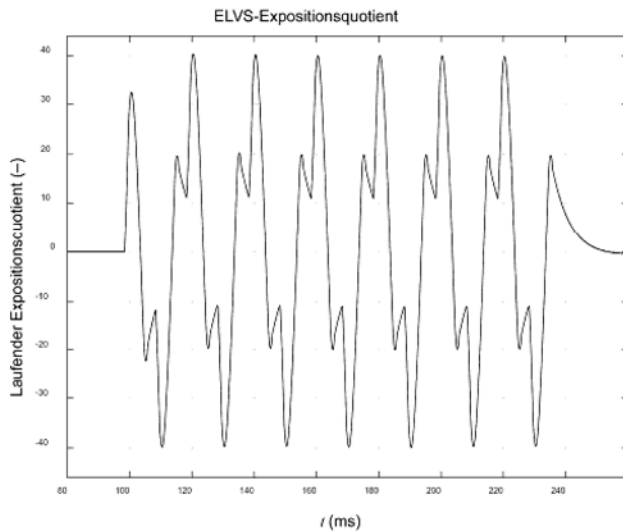


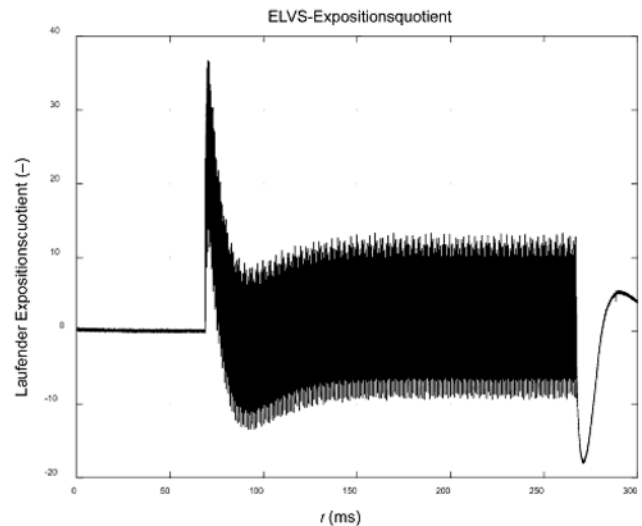
Bild A.4 – Kombiniertes Expositionsgrenzwert für die sensorischen und gesundheitlichen Wirkungen, die am Kopf anwendbar sind

Die laufenden, zeitlichen Expositionsquotienten in Bild A.5 werden durch digitale Filterung des in Bild A.3 dargestellten Worst-Case-Stroms nach den in Bild A.4 angegebenen Grenzwerten ermittelt.

ANMERKUNG Eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens der gewichteten Spitzenwerte im Zeitbereich ist in IEC 62311 enthalten.



AC-LF-Technologie: $C_{EI} = \max |C_{EI}(t)| = 40,5$



MF-DC-Technologie: $C_{EI} = \max |C_{EI}(t)| = 36,8$

Bild A.5 – Laufende Expositionsquotienten über der Zeit für zwei Schweißtechnologien

Die verschiedenen laufenden Expositionsquotienten für die LF-AC-Technologie gelten für die Referenzwerte (AL) und für die Basisgrenzwerte (ELV):

Tabelle A.1 – Laufender Expositionsquotient für die AC-LF-Technologie ($I_w = 11,4$ kA)

Expositionsgrenzwerte [Einheit]	Niedrige AL $\left[\frac{\text{kA}}{\text{mT}} \right]$	Hohe AL $\left[\frac{\text{kA}}{\text{mT}} \right]$	Gliedmaßen-AL $\left[\frac{\text{kA}}{\text{mT}} \right]$	ELV-Sensorik $\left[\frac{\text{kA} \cdot \text{Hz}}{\text{mV/m}} \right]$	ELV gesundheitlich $\left[\frac{\text{kA} \cdot \text{Hz}}{\text{mV/m}} \right]$
Laufender Expositionsquotient	13,4	4,42	1,47	40,5	10,7

Diese Werte sind theoretische Expositionsquotienten, ausgedrückt in $\frac{\text{A}}{\text{T}}$ oder in $\frac{\text{A} \cdot \text{Hz}}{\text{V/m}}$ entsprechend dem jeweiligen Expositionsgrenzwert. Sie müssen mit einem Koppelfaktor CC_{BI} , CC_{EI} , CC_{JI} oder CC_{JB} multipliziert werden, um Expositionsquotienten zu erhalten. Die Koppelfaktoren werden für ein Stromstärke von 1 A bestimmt.

Auf die gleiche Weise beträgt der laufende Expositionsquotient nach den Referenzwerten für die Allgemeinbevölkerung (Empfehlung 1999/519/EG [1]):

Tabelle A.2 – Laufender Expositionsquotient für die Allgemeinbevölkerung für die AC-LF-Technologie ($I_w = 11,4$ kA)

Referenzwert [Einheit]	Allgemeinbevölkerung $\left[\frac{\text{kA}}{\text{mT}} \right]$
Laufender Expositionsquotient	239,4

A.3 Koppelfaktor des Schweißstromkreises

Die Koppelfaktoren CC_{BI} hängen von der Größe und Geometrie des Schweißstromkreises ab. Die Daten können aus CAD-Daten oder standardmäßig durch Längenmessung an einem Schweiß-Betriebsmittel gewonnen werden. Da die Koppelphänomene im betrachteten Frequenzbereich linear sind, sind Frequenz und Amplitude des für die Bewertung verwendeten Schweißstroms unkritisch und können beliebig verändert werden, wie jeweils benötigt. Der einfachste Weg ist die Berechnung unter der Annahme eines Gleichstroms von 1 A.

E DIN EN IEC 62822-3 (VDE 0545-24):2022-01

In einem Satz ausgedrückt, stellen die Faktoren das Verhältnis Magnetfeld zu einer Einheit Schweißstrom dar und sie sind frequenzunabhängig.

ANMERKUNG In dem hier betrachteten Frequenzbereich ist die Frequenzabhängigkeit linear.

Als Beispiel wird eine stationäre Punktschweißzange verwendet (Bild A.4).

Maße in Meter

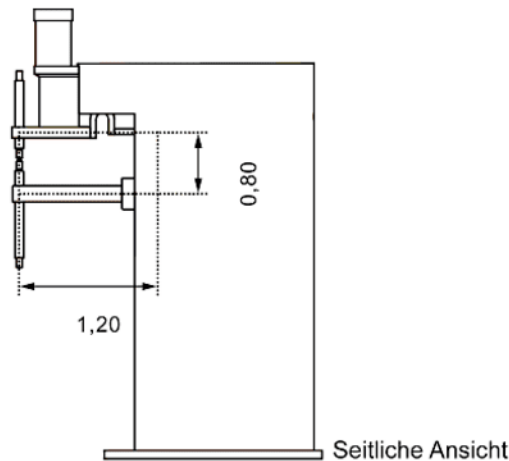


Bild A.6 – Geometrie der stationären Punktschweißzange

Der Schweißstromkreis dieses Beispiels wird durch eine 1,2 m × 0,8 m große rechteckige Schleife modelliert, wie in Bild A^{N2} dargestellt. Die kleine Schleife auf der Oberseite der Elektrode ist aufgrund der Konstruktion der Maschine nicht zugänglich und wurde daher vernachlässigt.

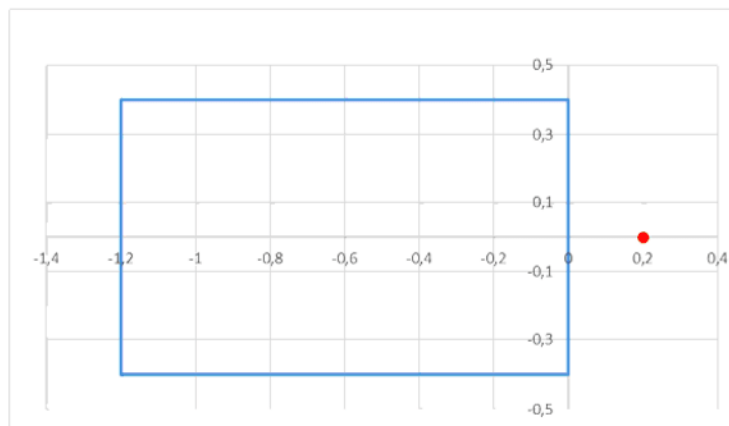


Bild A.7 – Modell des Schweißstromkreises und ein Anhaltspunkt entlang der X-Achse

Durch die Anwendung von Gleichung (9) können die Koppelfaktoren CC_{BI} über der x-Achse aufgetragen werden (Bild A.5^{N3}).

N² Nationale Fußnote: Gemeint ist Bild A.7.

N³ Nationale Fußnote: Gemeint ist Bild A.8.

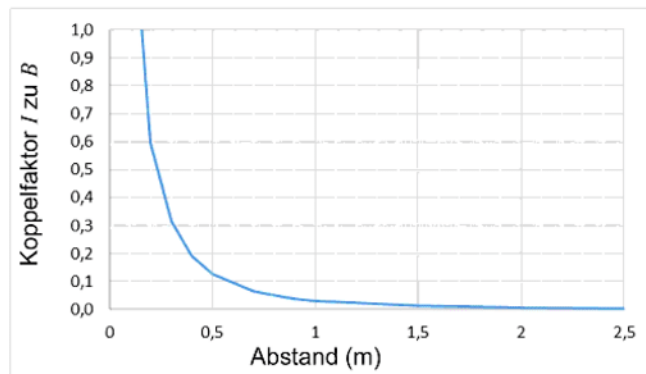


Bild A.8 – Koppelfaktoren über der x-Achse

A.4 Schweißsystem

Der Betriebsmittelintegrator ist in der Lage, die Exposition des Schweißsystems mit den vorhergehenden Daten zu bewerten: laufende Expositionsquotienten und die Koppelfaktoren CC_{BI} , wie in [Abschnitt 5](#) erläutert.

Die Ergebnisse der Referenzwerte (AL) aus [Tabelle A.2](#) und [Tabelle A.3](#) unter Verwendung von [Gleichung \(3\)](#) sind in [Bild A.6](#)^{N4} dargestellt ($I_w = 11,4$ kA).

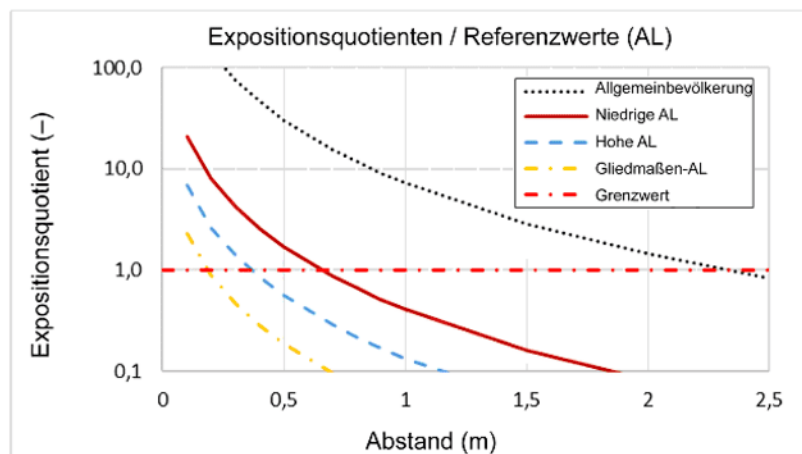


Bild A.9 – Expositionsquotient (AL) über der x-Achse

Die Auslösewerte werden eingehalten, wenn der Expositionsquotient gleich oder kleiner als 1 ist, was bedeutet:

- Gesundheitliche Auswirkungen auf die Gliedmaßen werden bei einem Abstand von mehr als 0,20 m entlang der x-Achse vermieden.
- Gesundheitliche Auswirkungen auf den Rumpf und den Kopf werden bei einem Abstand von mehr als 0,40 m vermieden.
- Sensorische Auswirkungen auf den Kopf werden bei einem Abstand von mehr als 0,65 m entlang der x-Achse vermieden.
- Auswirkungen auf die Allgemeinbevölkerung und besonders gefährdete Arbeitnehmer werden in einem Abstand von mehr als 2,3 m vermieden.

Die Ergebnisse hinsichtlich der Basisgrenzwerte (ELV) unter Verwendung von [Gleichung \(10\)](#) sind in [Bild A.7](#) dargestellt.

^{N4} Nationale Fußnote: Gemeint ist [Bild A.9](#).

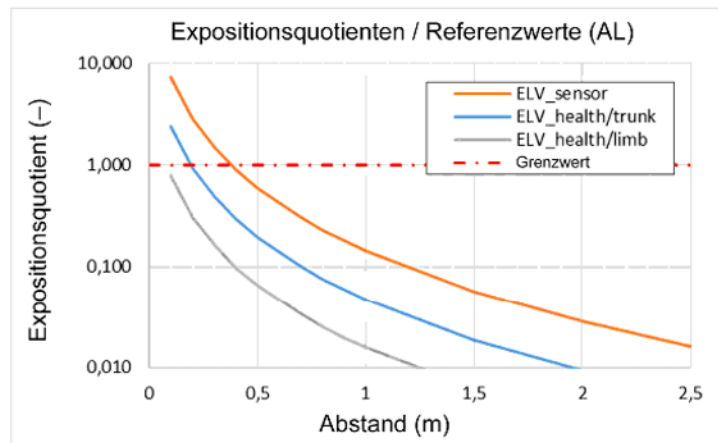


Bild A.10 – Expositionsquotient (ELV) über der x-Achse

Die Expositionsgrenzwerte werden auch dann eingehalten, wenn der Expositionsquotient gleich oder kleiner als 1 ist, d. h.:

- Gesundheitliche Auswirkungen auf die Gliedmaßen werden bei einem Abstand von mehr als 0,10 m entlang der X-Achse vermieden.
- Gesundheitliche Auswirkungen auf den Rumpf und den Kopf werden bei einem Abstand von mehr als 0,20 m vermieden.
- Sensorische Auswirkungen auf den Kopf werden bei einem Abstand von mehr als 0,40 m entlang der x-Achse vermieden.

Anhang B (informativ)

Datenblätter

B.1 Datenblatt Stromquelle

EMF-Datenblatt einer Stromquelle zum Widerstandsschweißen					
Herausgegeben von	Compaweld Ltd				Patrick Tester
Gültig ab				2021-04-20	Ausgabe A
Geräteangaben					
Markenname	Compaweld				
Modellbezeichnung(en)	Ultrawelder 2021				
Modellnummer(n)	21-6543-000-987				
Vorgesehener Einsatz	☒ für professionellen Einsatz ☐ für Benutzung durch Laien				
Basisangaben					
Gesetzliche Grundlage	Richtlinie 2006/95/EG				
Verwendete Grenzwerte	Richtlinie 2013/35/EU, Empfehlung 1999/519/EG				
Angewandte Norm(en)	EN 62822-1:2016, EN 62822-3:2017, IEC 50527				
Bei der Arbeitsplatzbewertung zu beachtende nichtthermische Effekte				☒ Ja	☐ Nein
Bei der Arbeitsplatzbewertung zu beachtende thermische Effekte				☐ Ja	☒ Nein
☐ Die Daten basieren auf der höchstmöglichen Leistung der Stromquelle (gilt, bis Firmware/Hardware geändert wird)					
☐ Die Daten basieren auf der Worst-Case-Einstellung/Programm (gilt nur, bis Einstellungen/Schweißprogramme geändert werden)					
☐ Die Daten basieren auf verschiedenen Einstellungen/Programmen (gilt nur, bis Einstellungen/Schweißprogramme geändert werden)					
☒ Andere (anzugeben): Modus abc – Schweißstrom = 11,4 kA (2 Stromstöße von 140 ms)					
EMF-Daten für nichtthermische Effekte					
Laufender Expositionsquotient (CEI) / Richtlinie 2013/35/EU					
Expositionsgrenzwerte	Niedrige AL	Hohe AL	Gliedmaßen-AL	ELV-Sensorik	ELV gesundheitl.
Einheiten des laufenden Exposi- tionsquotienten	$\left[\frac{\text{kA}}{\text{mT}} \right]$	$\left[\frac{\text{kA}}{\text{mT}} \right]$	$\left[\frac{\text{kA}}{\text{mT}} \right]$	$\left[\frac{\text{kA} \cdot \text{Hz}}{\text{mV/m}} \right]$	$\left[\frac{\text{kA} \cdot \text{Hz}}{\text{mV/m}} \right]$
Laufender Expositionsquotient	13,4	4,42	1,47	40,5	10,7
Laufender Expositionsquotient (CEI) / Empfehlung 1999/519/EG					
Expositionsgrenzwert		Allgemeinbevölkerung			
Einheit des laufenden Exposi- tionsquotienten		$\left[\frac{\text{kA}}{\text{mT}} \right]$			
Laufender Expositionsquotient		239,4			
IEC 62822-3 Ed. 2 beschreibt, wie man die vorliegenden Expositionsquotienten anwendet, um die Expositionsquo- tienten für die Anwendungsfälle zu bestimmen.					

Bild B.1 – Datenblatt der Stromquelle