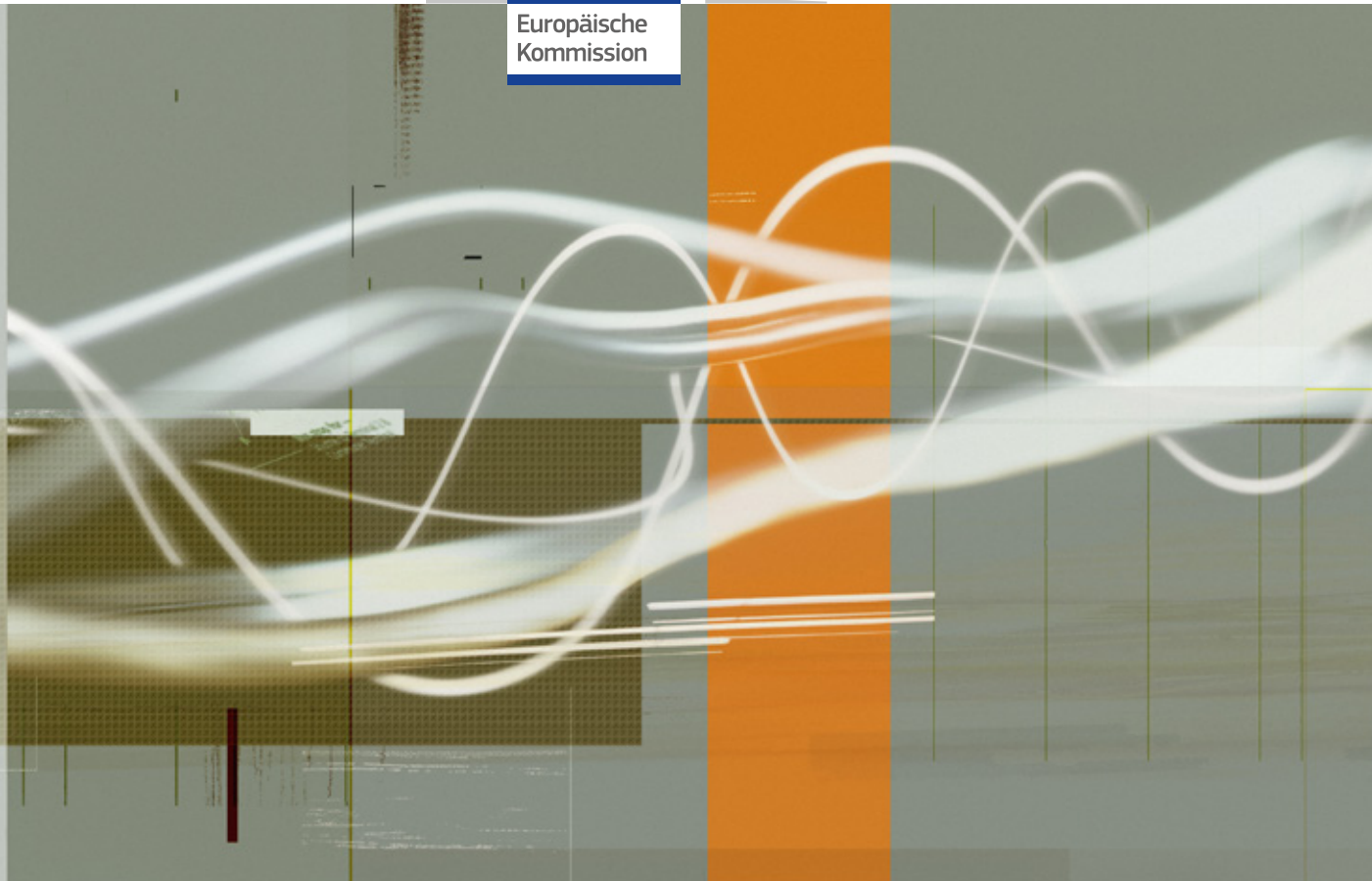




Europäische
Kommission



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

Elektromagnetische Felder

Band 2: Fallstudien

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

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

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

Elektromagnetische Felder

Band 2:
Fallstudien

Europäische Kommission
Generaldirektion
Beschäftigung, Soziales und Integration
Referat B3

Manuskript abgeschlossen im November 2014

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

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

Titelfoto: © corbis

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

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

Kostenlose Hotline (*):

00 800 6 7 8 9 10 11

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

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

Luxemburg: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, 2015

ISBN 978-92-79-45947-4

doi:10.2767/254064

© Europäische Union, 2015

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet.

INHALT

Fallstudien.....	7
1 BÜRORÄUME	9
1.1 Arbeitsstätte.....	9
1.2 Art der Arbeit.....	9
1.3 Vorgehensweise bei der Bewertung.....	10
1.4 Ergebnisse der Bewertung.....	10
1.5 Risikobewertung	10
1.6 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen.....	11
1.7 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse.....	11
2 KERNSPINRESONANZSPEKTROSKOPIE (NMR-SPEKTROMETER).....	12
2.1 Arbeitsstätte.....	12
2.2 Art der Arbeit.....	12
2.3 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen.....	12
2.4 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung.....	13
2.5 Ergebnisse der Expositionsbewertung.....	14
2.6 Risikobewertung	14
2.7 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen.....	15
2.8 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse.....	16
3 ELEKTROLYSE	17
3.1 Arbeitsstätte.....	17
3.2 Art der Arbeit.....	17
3.3 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen.....	17
3.3.1 Zellenraum.....	17
3.3.2 Gleichrichterbucht.....	18
3.4 Verwendung der Anlage.....	20
3.5 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung.....	20
3.5.1 Zellenraum.....	21
3.5.2 Gleichrichterbucht.....	21
3.6 Ergebnisse der Expositionsbewertung.....	22
3.6.1 Zellenraum.....	23
3.6.2 Gleichrichterbucht.....	27
3.7 Risikobewertung	29
3.8 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen.....	31
3.9 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse.....	31
3.10 Weiterführende Informationsquellen.....	31
4 MEDIZINISCHER BEREICH.....	32
4.1 Arbeitsstätte.....	32
4.2 Art der Arbeit.....	32
4.3 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen.....	32
4.3.1 Elektrochirurgiesystem.....	32
4.3.2 Transkranielle Magnetstimulation.....	33
4.3.3 Kurzwellendiathermie.....	34
4.4 Anwendung der Geräte.....	34
4.4.1 Elektrochirurgiesystem.....	34

4.4.2	Transkranielle Magnetstimulation	34
4.4.3	Kurzwellendiathermie	35
4.5	Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung	35
4.6	Ergebnisse der Expositionsbewertung	36
4.6.1	Elektrochirurgiesystem	36
4.6.2	TMS-Gerät	39
4.6.3	Kurzwellendiathermie	43
4.7	Risikobewertung	43
4.7.1	Elektrochirurgiesystem	43
4.7.2	TMS-Gerät	43
4.8	Bereits bestehende Schutzmaßnahmen	46
4.9	Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse	46
4.9.1	Elektrochirurgiesystem	46
4.9.2	TMS-Gerät	46
4.9.3	Kurzwellendiathermie	47
5	KONSTRUKTIONSWERKSTATT	48
5.1	Arbeitsstätte	48
5.2	Art der Arbeit	48
5.3	Verwendung der Geräte	48
5.3.1	Magnetpulverprüfgerät	48
5.3.2	Entmagnetisiergerät	49
5.3.3	Schleifmaschine	50
5.3.4	Sonstige Arbeitsmittel in der Werkstatt	50
5.4	Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen	51
5.5	Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung	51
5.6	Ergebnisse der Expositionsbewertung	51
5.6.1	Magnetpulverprüfgerät	51
5.6.2	Entmagnetisiergerät	52
5.6.3	Schleifmaschine	54
5.6.4	Sonstige Arbeitsmittel in der Werkstatt	54
5.7	Risikobewertung	55
5.8	Bereits bestehende Schutzmaßnahmen	59
5.9	Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse	59
5.10	Weiterführende Informationsquellen	61
6	AUTOMOBILINDUSTRIE	63
6.1	Arbeitsstätte	63
6.2	Art der Arbeit	63
6.3	Verwendung der Geräte	63
6.4	Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen	65
6.5	Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung	67
6.6	Ergebnisse der Expositionsbewertung	68
6.6.1	Ergebnisse der Expositionsbewertung für die Punktschweißgeräte der Reparaturwerkstatt	69
6.6.2	Ergebnisse der Expositionsbewertung für die Induktionserwärmer der Karosseriereparaturwerkstatt	71
6.7	Schlussfolgerungen aus den Expositionsbewertungen	72
6.8	Risikobewertung	74
6.9	Bereits bestehende Schutzmaßnahmen	74
6.10	Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse	75
6.11	Punktschweißgeräte in der Fahrzeugherstellung	76
6.11.1	Bewertung von Punktschweißgeräten in Fabriken	76
6.11.2	Messergebnisse für das Punktschweißgerät der Fabrik	78
6.11.3	Messergebnisse für das Punktschweißgerät der Fabrik im Verhältnis zu den Auslöseschwellen	80
6.11.4	Messergebnisse für das Punktschweißgerät der Fabrik im Verhältnis zu den Expositionsgrenzwerten	80

7	SCHWEISSEN	83
7.1	Arbeitsstätte	83
7.2	Art der Arbeit	83
7.3	Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen	83
7.3.1	Punktschweißgeräte	83
7.3.2	Nahtschweißgeräte	84
7.4	Verwendung der Geräte	85
7.5	Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung	85
7.6	Ergebnisse der Expositionsbewertung	86
7.6.1	Tisch-Punktschweißgerät	86
7.6.2	Abgehängtes tragbares Punktschweißgerät	87
7.6.3	Nahtschweißgerät	89
7.7	Risikobewertung	90
7.8	Bereits bestehende Schutzmaßnahmen	94
7.9	Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse	94
7.10	Weiterführende Informationsquellen	95
7.10.1	Tisch-Punktschweißgerät	95
7.10.2	Abgehängtes tragbares Punktschweißgerät	96
7.10.3	Nahtschweißgerät	96
8	METALLURGISCHE FERTIGUNG	98
8.1	Arbeitsstätte	98
8.2	Art der Arbeit	98
8.3	Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen, und zu deren Verwendung	98
8.3.1	Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen	98
8.3.2	Herstellungsanlage für Ferrotitan	99
8.3.3	Große elektrische Schmelzanlage	99
8.3.4	Lichtbogenofenanlage	100
8.3.5	Analyselabor	100
8.4	Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung	101
8.4.1	Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen	101
8.4.2	Herstellungsanlage für Ferrotitan	101
8.4.3	Große elektrische Schmelzanlage	101
8.4.4	Lichtbogenofenanlage	102
8.4.5	Analyselabor	102
8.5	Ergebnisse der Expositionsbewertung	102
8.5.1	Anfängliche Expositionsbewertung	102
8.5.2	Eingehende Expositionsbewertung des Induktionsofens in der Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen	104
8.6	Risikobewertung	106
8.7	Bereits bestehende Schutzmaßnahmen	108
8.8	Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse	108
8.9	Weiterführende Informationsquellen	109
9	HOCHFREQUENZPLASMAGERÄTE	112
9.1	Art der Arbeit	112
9.2	Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen	112
9.3	Verwendung der Anlage	113
9.4	Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung	113
9.5	Ergebnisse der Expositionsbewertung	115
9.6	Risikobewertung	116
9.7	Bereits bestehende Schutzmaßnahmen	117
9.8	Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse	118
9.9	Weitere Informationen	119

10 DACHANTENNEN	120
10.1 Arbeitsstätte.....	120
10.2 Art der Arbeit.....	120
10.3 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen.....	121
10.4 Verwendung der Anlage.....	123
10.5 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung.....	123
10.6 Ergebnisse der Expositionsbewertung.....	124
10.7 Risikobewertung.....	125
10.8 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen.....	126
10.9 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse.....	127
11 WALKIE-TALKIES	128
11.1 Arbeitsstätte.....	128
11.2 Art der Arbeit.....	128
11.3 Verwendung der Anlage.....	130
11.4 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung.....	130
11.5 Ergebnisse der Expositionsbewertung.....	130
11.6 Risikobewertung.....	130
11.7 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen.....	131
11.8 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse.....	131
12 FLUGHÄFEN	132
12.1 Arbeitsstätte.....	132
12.2 Art der Arbeit.....	132
12.2.1 Radar.....	132
12.2.2 Ungerichtetes Funkfeuer (NDB).....	132
12.2.3 Entfernungsmessgerät (DME).....	133
12.3 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen.....	133
12.3.1 Radar.....	133
12.3.2 Ungerichtetes Funkfeuer (NDB).....	134
12.3.3 Entfernungsmessgerät (DME).....	134
12.4 Verwendung der Geräte.....	134
12.5 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung.....	134
12.5.1 Radar.....	134
12.5.2 Ungerichtetes Funkfeuer (NDB).....	136
12.5.3 Entfernungsmessgerät (DME).....	136
12.6 Ergebnisse der Expositionsbewertung.....	136
12.6.1 Radar.....	137
12.6.2 Ungerichtetes Funkfeuer (NDB).....	137
12.6.3 Entfernungsmessgerät (DME).....	138
12.7 Risikobewertung.....	138
12.8 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen.....	141
12.8.1 Radar.....	141
12.8.2 Ungerichtetes Funkfeuer (NDB).....	142
12.8.3 Entfernungsmessgerät (DME).....	142
12.9 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse.....	142
12.9.1 Radar.....	142
12.9.2 Ungerichtetes Funkfeuer (NDB).....	143
12.9.3 Entfernungsmessgerät (DME).....	143

FALLSTUDIEN

Die vorliegende Zusammenstellung von Fallstudien bildet Band 2 des nicht verbindlichen Leitfadens mit bewährten Verfahren im Hinblick auf die Durchführung der EMF-Richtlinie (2013/35/EU). Sie ist in Verbindung mit dem Haupttext des Leitfadens in Band 1 zu lesen.

Die hier vorgestellten Fallstudien wurden für verschiedene Berufszweige erstellt, in denen die Arbeitnehmer vorwiegend in kleinen bis mittleren Unternehmen tätig sind. Sie beruhen auf tatsächlich erfolgten Bewertungen unter realen Bedingungen. Da einige dieser Bewertungen jedoch äußerst komplex waren, wurden sie vereinfacht oder zusammengefasst, damit sie für den Leser besser nutzbar sind und der Gesamtumfang dieses Bands überschaubar bleibt. Sie dienen der Veranschaulichung verschiedener praktischer Vorgehensweisen, mit denen Arbeitgeber die Risiken, die sich aus der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern ergeben, beherrschen können. Dabei werden auch Beispiele für bewährte Verfahren angeführt.

Einige Fallstudien enthalten Konturdiagramme, die (in Draufsicht) die gemessenen (oder berechneten) Expositionswerte im Umkreis der besprochenen Arbeitsmittel schematisch darstellen.

In einigen Fallstudien werden auch die Ergebnisse computergestützter Modellierungen vorgestellt, bei denen das maximal induzierte elektrische Feld oder die spezifische Energieabsorptionsrate in den 2-mm³-Voxeln des Menschmodells durch farbige Verteilungsplots dargestellt werden. Zweck dieser Plots ist die schematische Darstellung der Absorptionorte des Felds im menschlichen Körper, nicht jedoch die genaue Angabe der Stärke der jeweiligen Felder. Im Niederfrequenzbereich bilden die Plots nicht das 99. Perzentil der induzierten elektrischen Felder (das zum Vergleich mit den Expositionsgrenzwerten herangezogen wird), sondern die maximal induzierten elektrischen Felder ab.

Die in diesem Band vorgestellten Fallstudien entstammen folgenden Bereichen:

- 1 **Büroräume**
- 2 **Kernspinresonanzspektroskopie (NMR-Spektrometer)**
- 3 **Elektrolyse**
- 4 **Medizinischer Bereich**
- 5 **Konstruktionswerkstatt**
- 6 **Automobilindustrie**
- 7 **Schweißen**
- 8 **Metallurgische Fertigung**
- 9 **Hochfrequenzplasmageräte**
- 10 **Dachantennen**
- 11 **Walkie-Talkies**
- 12 **Flughäfen**

1 BÜRORÄUME

1.1 Arbeitsstätte

Diese Fallstudie bezieht sich auf den Bürotrakt eines mittleren Ingenieurunternehmens. In diesen Räumen befinden sich die üblichen elektrischen Bürogeräte, die mit Netzstrom versorgt werden. Zur Computerausstattung gehören Desktop-Rechner, die an ein lokales Netzwerk (Local Area Network, LAN) angeschlossen sind, Laptops, die mit einem drahtlosen Funknetzwerk verbunden sind, und ein Netzwerksver. Außerdem steht den Arbeitnehmern eine kleine Küche zur Verfügung. In dieser Küche befinden sich elektrische Geräte: ein Wasserkocher, ein Kühlschrank und ein Mikrowellenherd. Hinzu kommt ein größerer zentraler Netzwerksver, der in einem getrennten Raum untergebracht ist. Der Zugang zum Bürotrakt wird durch ein RFID-System gesichert, für das jeder zutrittsberechtigte Mitarbeiter eine Karte besitzt (RFID steht für Radiofrequenz-Identifikation). Nachdem der Büroleiter von Kollegen erfahren hatte, dass neue Vorschriften zur Durchführung der EMF-Richtlinie erlassen wurden, beschloss er, die Risikobewertung für die Büroräume zu überprüfen.

1.2 Art der Arbeit

Die Büromitarbeiter verbringen die meiste Zeit am Computer und mit Ferngesprächen, für die sie schnurlose DECT-Telefone und Mobiltelefone verwenden. An Umhängebändern tragen sie Zugangskarten mit sich, mit denen sie RFID-gesicherte Türen öffnen können. Einige dieser Quellen elektromagnetischer Felder werden in Abbildung 1.1 gezeigt. Alle Mitarbeiter können sich in der Küche mit dem Mikrowellenherd heiße Getränke zubereiten oder Mahlzeiten aufwärmen.

Abbildung 1.1 – Quellen elektromagnetischer Felder im Bürotrakt



1.3 Vorgehensweise bei der Bewertung

Der Büroleiter notierte bei einem Rundgang durch den Bürotrakt alle elektrisch betriebenen Geräte einschließlich derjenigen, die elektromagnetische Felder erzeugen, und vergewisserte sich bei den Mitarbeitern, dass er keines übersehen hatte. Nachdem er den ersten Abschnitt des nicht verbindlichen Leitfadens mit bewährten Verfahren im Hinblick auf die Durchführung der Richtlinie 2013/35/EU (elektromagnetische Felder) gelesen hatte, wurde ihm klar, dass die beste Vorgehensweise bei der Risikobewertung darin bestand, nachzuschauen, ob die erfassten Geräte in Band 1, Kapitel 3 des Leitfadens in Tabelle 3.2 aufgeführt waren. Bei Geräten, die in dieser Tabelle nicht enthalten waren, müssten eventuell eingehendere Bewertungen folgen.

1.4 Ergebnisse der Bewertung

Der Büroleiter erstellte ein Verzeichnis aller elektrischen Geräte (Tabelle 1.1) und überprüfte, ob diese jeweils in Tabelle 3.2 (Band 1, Kapitel 3) des Leitfadens aufgeführt waren.

Tabelle 1.1 – Verzeichnis der elektrischen Geräte im Bürotrakt

Gerät	Geringes Risiko für Arbeitnehmer (Tabelle 3.2, Kapitel 3)	Bewertung erforderlich für Arbeitnehmer mit aktiven implantierten oder am Körper getragenen medizinischen Geräten (Tabelle 3.2, Kapitel 3)	Bemerkungen
Computer	✓		
Netzwerkserver mit unterbrechungsfreier Stromversorgung (USV) und Netzwerkverkabelung	✓		Die Leistung der USV entspricht in etwa derjenigen eines üblichen Stromanschlusses
Laptops (mit WLAN-Anschluss)		✓	
Schnurlose DECT-Telefone		✓	
Stromkabel	✓		
Mobiltelefone		✓	
Fotokopierer	✓		
Zugangspunkte zum drahtlosen Netzwerk		✓	
Wasserkocher	✓		
Kühlschrank	✓		
Mikrowellenherd	✓		Der Herd muss ordnungsgemäß gewartet werden
RFID-Zugangskontrolle		✓	

1.5 Risikobewertung

Die Bewertungsergebnisse zeigen, dass bei der Verwendung der in Tabelle 3.2 (Band 1, Kapitel 3) des Leitfadens aufgeführten Bürogeräte die in der EMF-Richtlinie genannten anwendbaren Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen nicht überschritten werden. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass andere in Tabelle 3.2 aufgeführte Geräte bei Arbeitnehmern Störungen aktiver implantierter oder am Körper getragener medizinischer Geräte verursachen könnten. Ergänzend zur allgemeinen Risikobewertung für die Büroräume wurde eine Risikobewertung mit Bezug auf elektromagnetische Felder durchgeführt, die in Tabelle 1.2 dargestellt wird.

1.6 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen

Der Gesamtzustand des Mikrowellenherds wird im Rahmen der Routine-Sicherheitsüberprüfungen des Bürotrakts regelmäßig kontrolliert.

1.7 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse

Der Büroleiter führt eine Reihe einfacher Maßnahmen ein:

- Wenn neuartige Geräte beschafft werden, muss anhand der EMF-Richtlinie überprüft werden, ob sie sich auf die Ergebnisse der Risikobewertung auswirken.
- Wenn Mitarbeiter angeben, dass sie aufgrund eines aktiven implantierten medizinischen Geräts besonders gefährdet sind, geht der Büroleiter gemeinsam mit ihnen die Informationen durch, die ihnen ihr behandelnder Arzt gegeben hat.

Tabelle 1.2 – Auf elektromagnetische Felder bezogene Ergänzungen zur allgemeinen Risikobewertung für Büroräume

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad			Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen
			Gering	Schwerwiegend	Lebensgefährlich		
Elektromagnetische Strahlung aus dem Mikrowellenherd	Regelmäßige Kontrollen des Gesamtzustands des Herds einschließlich Türdichtung, Glasgitter und Verriegelungen	Alle Arbeitnehmer	✓			Gering	Nicht erforderlich
Störung aktiver implantierter medizinischer oder am Körper getragener medizinischer Geräte durch elektromagnetische Strahlung	Keine	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	✓		✓	Gering	Sicherstellen, dass alle Arbeitnehmer, die mit elektrischen medizinischen Geräten versorgt wurden, sich nach der Rückkehr an ihren Arbeitsplatz einer individuellen Risikobewertung unterziehen, bei der die ihnen von ärztlicher Seite empfohlenen Schutzmaßnahmen festgestellt und umgesetzt werden Alle neuen Geräte müssen bewertet werden

2 KERNSPINRESONANZSPEKTROSKOPIE (NMR-SPEKTROMETER)

2.1 Arbeitsstätte

Von NMR-Spektrometern kann aufgrund starker statischer Magnetfelder eine Gefahr ausgehen. Sie werden für die Analyse von Materialeigenschaften verwendet, beispielsweise zur Ermittlung chemischer Bestandteile in der Fertigungsindustrie. Ort unserer Fallstudie ist ein Pharmaunternehmen, das in einem eigenen Spektroskopie-Labor NMR-Geräte aufgestellt hat. Als der Erwerb eines neuen Geräts ins Auge gefasst wurde, wollte der Sicherheitsbeauftragte vor der Erstellung eines Aktionsplans die Risikobewertung überprüfen.

2.2 Art der Arbeit

Kleine Proben der zu analysierenden Materialien werden entweder einzeln von Hand oder portionsweise automatisch über ein Karussell in die vertikale Bohrung der NMR-Einheit eingebracht (Abbildung 2.1).

Abbildung 2.1 – NMR-Einheit mit Probenkarussell und Zugangstreppe

Probenkarussell

Kryostat

Zugangstreppe



2.3 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen

Im Vorfeld der Überprüfung stellte der Sicherheitsbeauftragte allgemeine Informationen über NMR-Geräte zusammen und stellte Folgendes fest:

- Der Elektromagnet erzeugt ein starkes statisches (0 Hz) Magnetfeld, dessen Flussdichten je nach Gerät etwa von 0,5 bis 20 T reichen. Für kleine Tischgeräte werden Seltenerd-magneten, für größere freistehende Geräte supraleitende Magneten verwendet. Im Interesse der Feldstabilität wird der Magnet über lange Zeitabschnitte hinweg voll

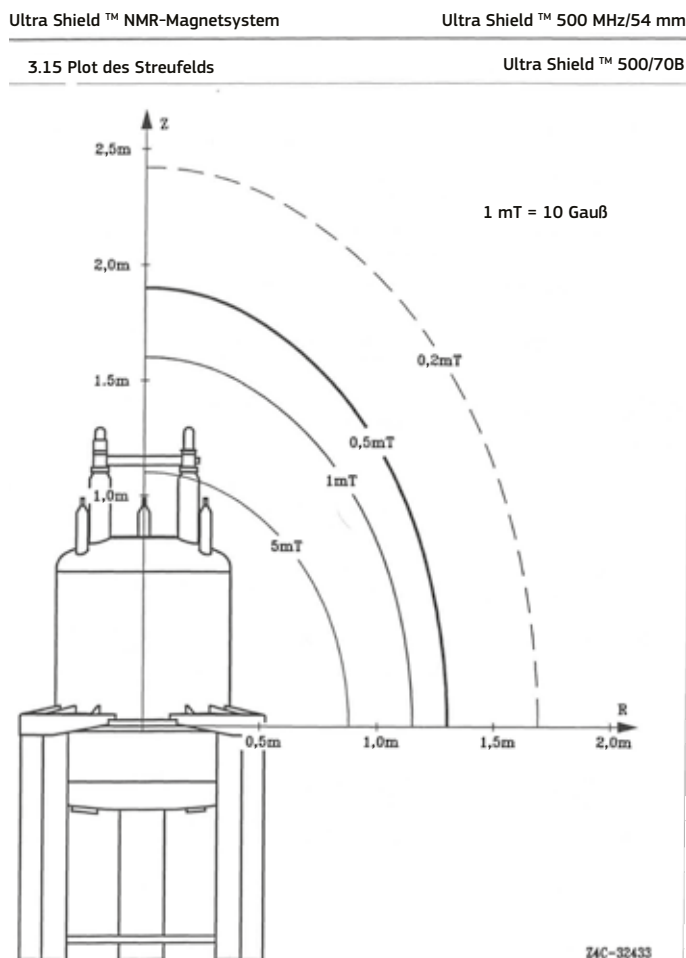
bestromt, und die Feldstärke kann daher nicht verringert werden, wenn sich Arbeitnehmer nähern.

- Die Hersteller haben die Bauweise der Geräte ständig verbessert, um die Stärke des statischen Magnetfelds, zu dem der Arbeitnehmer Zugang hat, durch passive und aktive Abschirmungen zu verringern. So wurde es in einigen Fällen möglich, das gefährliche Magnetfeld nahezu vollständig innerhalb des Kryostaten zu halten. Bei älteren oder weniger gut abgeschirmten Geräten kann das gefährliche Magnetfeld einige Meter in den Arbeitsbereich hineinreichen.
- Diese externen Magnetfelder werden in der Regel durch Stahlbauteile (z. B. Stahlträger) innerhalb des Gebäudes verzerrt und kanalisiert.

2.4 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung

Dem Sicherheitsbeauftragten war bekannt, dass der Hersteller des neuen Geräts Angaben zur Stärke des für Arbeitnehmer zugänglichen statischen Magnetfelds liefern konnte. Vor allem aber konnte der Hersteller den Umfang mittelbarer Gefahren beschreiben, beispielsweise die Verletzungsgefahr durch die Projekttilwirkung ferromagnetischer Gegenstände oder die Störung medizinischer elektronischer Vorrichtungen oder Geräte. Wie es den bewährten Verfahren entspricht, konnte der Hersteller ein Diagramm der Streuung des statischen Magnetfelds im Umkreis des Geräts bereitstellen (Abbildung 2.2).

Abbildung 2.2 – Streuung des statischen Magnetfelds im Umkreis des NMR-Spektrometers



Der Sicherheitsbeauftragte wusste, dass die Stärke des statischen Magnetfelds im Umkreis des Geräts auch mit einem geeigneten Magnetometer bestimmt werden konnte und dass eine isotrope (dreiachsige) Sonde ein weitaus zuverlässigeres Ergebnis liefern würde als eine einachsige Sonde. Dieses Vorgehen wäre allerdings zeitaufwändig und kostspielig, außerdem wären die Messungen mit Gefahren verbunden, insbesondere, wenn die Instrumente mit Metall beschlagen waren. Der Sicherheitsbeauftragte schloss Messungen im Zusammenhang mit der Bewertung aus, da er die Angaben des Herstellers als zuverlässig einschätzte.

Des Weiteren überlegte der Sicherheitsbeauftragte, welche Gruppen von Arbeitnehmern Zugang zum NMR-Labor haben würden und welche Aufgaben sie dort voraussichtlich erledigen würden. Er stellte fest, dass die Wartungstechniker der Hersteller der NMR-Einheiten von Zeit zu Zeit Zugang erhalten und hohen Feldstärken ausgesetzt sein würden, beispielsweise bei der Einstellung des Spektrometers am Sockel des Kryostaten. Allerdings würde sein Unternehmen verlangen, dass diese Techniker eine schriftliche Risikobewertung und die Sicherheitsvorschriften für ihre Tätigkeit vorlegten, und würde vorab Kompetenznachweise anfordern (z. B. Belege für ihre Ausbildung und praktische Erfahrung). Auf dieser Grundlage bewertete er die mit ihrer Arbeit verbundenen Risiken als gering. Außerdem stellte er fest, dass der externen Reinigungsfirma der Zutritt zum Labor untersagt würde.

2.5 Ergebnisse der Expositionsbewertung

Aufgrund der Überprüfung der im NMR-Labor bereits installierten Geräte wusste der Sicherheitsbeauftragte, dass der Gefahrenabstand je nach Bauweise und insbesondere Abschirmung erheblich variieren konnte: Bei älteren, nicht abgeschirmten Hochfeldgeräten konnte er mehrere Meter betragen, bei modernen, gut abgeschirmten Geräten hingegen bei praktisch null liegen. Allerdings war nicht damit zu rechnen, dass an den für die Mitarbeiter des Unternehmens zugänglichen Stellen die Expositionsgrenzwerte für direkte Wirkungen überschritten würden. Trotz der erheblichen Ausgangsleistung des Hochfrequenzverstärkers war zu erwarten, dass das Hochfrequenzfeld vollständig innerhalb des Geräts verblieb und die Arbeitnehmer damit nicht in Berührung kommen konnten.

Den Angaben des Herstellers (Abbildung 2.2) entnahm der Sicherheitsbeauftragte, dass die Auslöseschwellen für indirekte Auswirkungen bis zu einem Abstand von 1,3 m von der Außenfläche des Kryostaten überschritten werden dürften.

2.6 Risikobewertung

Der Sicherheitsbeauftragte wusste, dass bereits eine Risikobewertung für das NMR-Labor vorlag, und stellte fest, dass diese nach der Methodik erstellt worden war, die auf der OiRA (der Plattform der EU-OSHA für die interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung) empfohlen wurde. Dabei werden sämtliche Risiken bewertet, denen Arbeitnehmer im Labor ausgesetzt sind, beispielsweise:

- Arbeit in der Höhe bei der Probenbeschickung;
- kryogene Flüssigkeiten und ein „Quench“ der supraleitfähigen Magneten;
- erstickende Stickstoffatmosphäre in umschlossenen Räumen unterhalb des Kryostaten, beispielsweise im Schacht des Probenwechslers;
- Projektilwirkung ferromagnetischer Gegenstände (z. B. Werkzeuge und Instrumente);
- Störungen elektronischer medizinischer Vorrichtungen und Geräte.

Daher bot es sich an, den neuen Aktionsplan auf der Grundlage der aktuellen Überprüfung der bestehenden Risikobewertung zu erstellen. Tabelle 2.1 zeigt ein Beispiel für die Bewertung von Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder für das NMR-Labor.

2.7 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen

Der Sicherheitsbeauftragte stellte fest, dass im NMR-Labor bereits diverse organisatorische Maßnahmen getroffen worden waren, um eine Exposition zu verhüten oder zu begrenzen. An erster Stelle stand die Auswahl von NMR-Geräten, die nach modernen Standards mit aktiven oder passiven Abschirmungen versehen waren. Als weitere bewährte Verfahrensweisen waren bereits folgende Maßnahmen ergriffen worden:

- die Aufstellung der NMR-Geräte in einem separaten Labor, das mit einer physischen Zugangskontrolle in Form von Tastaturcodes gesichert war;
- die Anbringung von Warn- und Verbotsschildern gemäß Richtlinie 92/58/EWG an der Eingangstür zum Labor (Abbildung 2.3). Hierzu gehört auch ein Warnhinweis für Personen, die elektronische medizinische Geräte tragen;
- das Verhindern des Mitbringens ferromagnetischer Werkzeuge und sonstiger Gegenstände in das Labor;
- die räumliche Trennung der NMR-Geräte von sonstigen Laborgeräten und Arbeitsplätzen;
- eine Kettenabspernung und Bodenmarkierungen entlang der Umrisslinie für 0,5 mT zwecks Zugangskontrolle (Abbildung 2.4);
- Verbreitung von Informationen, Unterweisung und Schulung für die im Labor Beschäftigten und Gewährleistung einer angemessenen Aufsicht;
- Verpflichtung der Wartungstechniker, eine schriftliche Sicherheitsdokumentation vorzulegen und vor ihrem Besuch ihre Kompetenz nachzuweisen.

Abbildung 2.3 – Warn- und Verbotsschilder an der Eingangstür zum NMR-Labor



Abbildung 2.4 – Abgrenzung des Sperrbereichs durch eine Kettenabspernung und Bodenmarkierungen



Tabelle 2.1 – Bewertung der Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder für das NMR-Labor

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad			Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen
			Gering	Schwerwiegend Lebensgefährlich	Wahrscheinlich		
Direkte Auswirkungen des statischen Magnetfelds	Separates Labor mit physischer Zutrittskontrolle	Labormitarbeiter	✓		✓	Gering	
	Warn- und Verbotsschilder						
	Information, Unterweisung und Schulung						Auffrischungsschulung Beitrag in den Sicherheitsmitteilungen
	Verbindliche schriftliche Sicherheitsdokumentation und Kompetenznachweise	Wartungstechniker	✓		✓	Gering	
	Kein Zutritt für Reinigungskräfte	Reinigungskräfte	✓		✓	Gering	Aufklärung der Reinigungskräfte
Indirekte Auswirkungen statischer Magnetfelder (Störung medizinischer Implantate, Verletzungsgefahr durch Projektilwirkung)	Fernhalten ferromagnetischer Gegenstände aus dem Labor	Alle oben Genannten		✓	✓	Gering	Aufklärung des Wartungspersonals
	Siehe oben	Besonders gefährdete Arbeitnehmer		✓	✓	Gering	Siehe oben
Hochfrequenzfeld	Vollständig innerhalb der Einheit und nicht zugänglich	Alle oben Genannten	✓		✓	Gering	Keine

2.8 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse

Nach der Überprüfung der Risikobewertung und der Bewertung der Gefahren, die von dem neuen Gerät ausgingen, war der Sicherheitsbeauftragte im Großen und Ganzen zufrieden. Die organisatorischen Maßnahmen wurden als hinreichend eingeschätzt, obwohl die letzte Schulung der Arbeitnehmer über die Gefahren und Sicherheitsvorkehrungen in Verbindung mit dem NMR-Labor bereits fünf Jahre zurücklag. Auf dieser Grundlage erstellte der Sicherheitsbeauftragte einen Aktionsplan mit folgenden Bestandteilen:

- Auffrischung der in früheren Schulungen vermittelten Kenntnisse der Labormitarbeiter durch eine Reihe kurzer Informationstreffen, insbesondere für neu eingestellte Arbeitnehmer;
- Sicherstellung, dass die Wartungstechniker die Gefahren kennen, die insbesondere von „umherfliegenden ferromagnetischen Gegenständen“ ausgehen;
- Überprüfung, ob die Mitarbeiter der externen Reinigungsfirma wissen, dass sie das Labor nicht betreten dürfen;
- Beitrag über die mit dem Labor verbundenen Gefahren in der nächsten Ausgabe der Sicherheitsmitteilungen des Unternehmens.

3 ELEKTROLYSE

In dieser Fallstudie werden folgende Quellen elektromagnetischer Felder behandelt:

- Elektrolyseure;
- Thyristorgleichrichter;
- Sammelschienen;
- Transformatoren.

3.1 Arbeitsstätte

Die Geräte waren in einer großen Chlorerzeugungsanlage installiert. Dabei waren folgende Arbeitsorte zu beachten:

- der Zellenraum der Elektrolyseure;
- die Gleichrichterbuchten.

3.2 Art der Arbeit

An den Geräten arbeiteten zumeist qualifizierte und erfahrene Techniker, die auf Anforderung mit allen Maschinen, die mit der Chlorerzeugung zusammenhängen, umgehen könnten. Dabei mussten gegebenenfalls in regelmäßigen Abständen Elektrolyseure abgebaut und gewartet werden, während die benachbarten Elektrolyseure weiterarbeiteten.

Die Anlage war verhältnismäßig neu, und Sicherheitserwägungen mit Bezug auf elektromagnetische Felder waren bereits in der Planungsphase berücksichtigt worden. Die Fallstudie ist daher ein Vorbild für bewährte Verfahren und verdeutlicht insbesondere, wie wichtig es ist, bei Großprojekten bereits im Planungsstadium die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern zu beachten.

3.3 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen

3.3.1 Zellenraum

Im Zellenraum befanden sich 20 Elektrolyseure, die mittels des Membranverfahrens durch Elektrolyse Chlor erzeugen, indem ein elektrischer Strom durch Sole geleitet wird. In jedem Elektrolyseur wurde ein Gleichstrom mit einer Spannung von 450 V und einer Stärke von 16,5 kA angewandt. Die Elektrolyseure waren mit einer Schutzeinhausung aus Perspex versehen, um jeden Kontakt mit aktiven elektrischen Leitern zu verhindern.

Ein einzelner Elektrolyseur war einschließlich Einhausung 17,2 m lang und 4,4 m breit, und er bestand aus 138 Zellen, die in zwei „Packen“ von jeweils 69 Zellen unterteilt und in Reihe geschaltet waren. Die Elektrolyseure waren durch einen Zwischenraum von ca. 1,1 m voneinander getrennt. Abbildung 3.1 zeigt die Anordnung der Elektrolyseure.

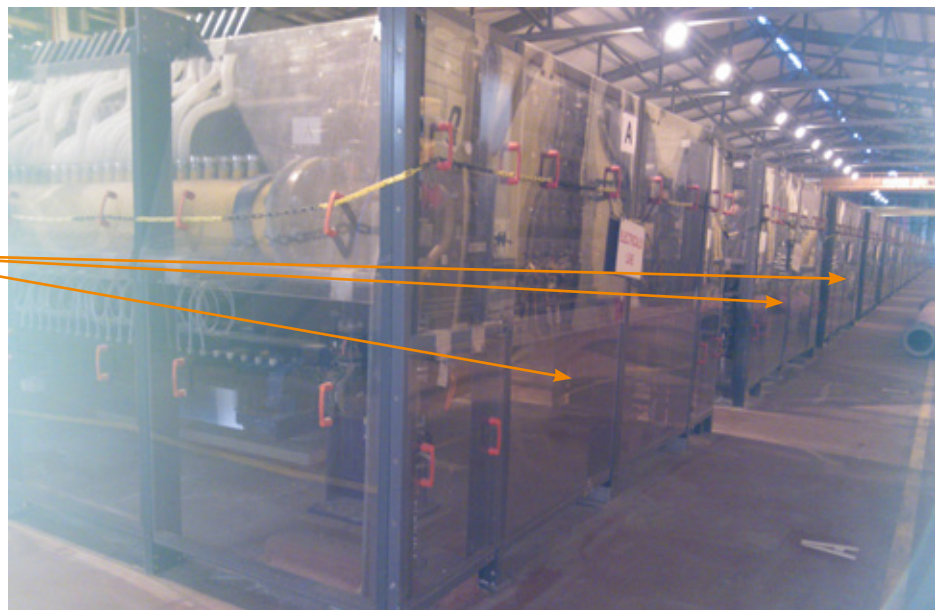
Bereits in der Planungsphase war anhand eines theoretischen Modells, das auf der Berechnung der Magnetfelder im Umkreis der stromleitenden Teile der Anlage beruhte, eine Bewertung vorgenommen worden, um sicherzugehen, dass die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern möglichst gering gehalten wird.

Abbildung 3.1 – Elektrolyseure im Zellenraum

**Längsseite eines
 Elektrolyseurs**



**Mehrere
 Elektrolyseure**



3.3.2 Gleichrichterbucht

In jeder Gleichrichterbucht (Abbildung 3.2) befand sich ein Thyristorgleichrichter, der zwei Elektrolyseure mit Gleichstrom versorgte. Die Versorgung der Elektrolyseure erfolgte über Sammelschienen, die in einer Höhe von ca. 4,2 m über dem Boden verliefen. Die Buchten waren abgezäunt, um einen Zutritt von außerhalb des Gebäudes zu verhindern, ihre Eingangstüren waren verschlossen, und neben den Türen waren Warnschilder angebracht (Abbildung 3.3). Während der Betriebszeiten der Elektrolyseure war der Zugang zu den Buchten in der Regel untersagt.

Die Transformatoren für die Versorgung des Zellenraums befanden sich außerhalb der Gleichrichterbuchten auf der anderen Seite der Mauer. Auch die Transformatorenbuchten waren eingezäunt, um den Zugang zu unterbinden (Abbildung 3.4).

Abbildung 3.2 – Eine Gleichrichterbucht



● Sammelschienen
oberhalb

● Thyristorgleichrichter

Abbildung 3.3 – Beschränkung des Zugangs zur Gleichrichterbucht



● Verschlossene Tür zur
Gleichrichterbucht

Abbildung 3.4 – Die Transformatorenbuchten

3.4 Verwendung der Anlage

Die Chlorerzeugung läuft automatisiert ab und wird von einem Kontrollraum in einem nahegelegenen Gebäude aus ferngesteuert.

3.5 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung

Die Expositionsmessungen wurden von einem Fachberater unter Verwendung von Spezialinstrumenten vorgenommen. Da die Anlage unter Berücksichtigung der EMF-Sicherheit ausgelegt worden war und im Rahmen der Planung anhand von Berechnungen der Magnetfelder im Umkreis der stromleitenden Anlagenteile eine Bewertung anhand eines theoretischen Modells erfolgt war, sollten die Messungen bestätigen, dass die bereits bestehenden Schutz- und Präventionsmaßnahmen die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern wirksam begrenzen.

Gemessen wurden sowohl die Flussdichte des statischen Magnetfelds, das auf die Versorgung der Elektrolyseure mit Gleichstrom zurückzuführen war, als auch die Flussdichte des zeitvariablen Magnetfelds, das durch die Restwelligkeit erzeugt wurde, die bei dem aus Wechselstrom gewonnenen Gleichstrom zu erwarten war. Auch die Frequenz dieser Restwelligkeit wurde während der Expositionsbewertung überprüft.

Im Vorfeld der Messungen fertigte der Berater eine „Zeit- und Bewegungsstudie“ an, um sicherzugehen, dass die Messungen an für normale Arbeitstätigkeiten typischen Orten erfolgten. Die Messungen wurden durchgeführt, während die Elektrolyseure bei konstanter Last in Betrieb waren.

Die Messergebnisse wurden mit den entsprechenden Expositionsgrenzwerten (ELV) und Auslöseschwellen (AL) für direkte Wirkungen sowie mit den Auslöseschwellen für indirekte Auswirkungen statischer Magnetfelder (Störung aktiver implantierter medizinischer Geräte sowie Verletzungsgefahr durch Anziehungskraft und Projektilwirkung im Streufeld von Quellen hoher Feldstärken) verglichen.

Bei der Bewertung der Exposition besonders gefährdeter Arbeitnehmer wurden die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte herangezogen (siehe Anhang E von Band 1 des Leitfadens).

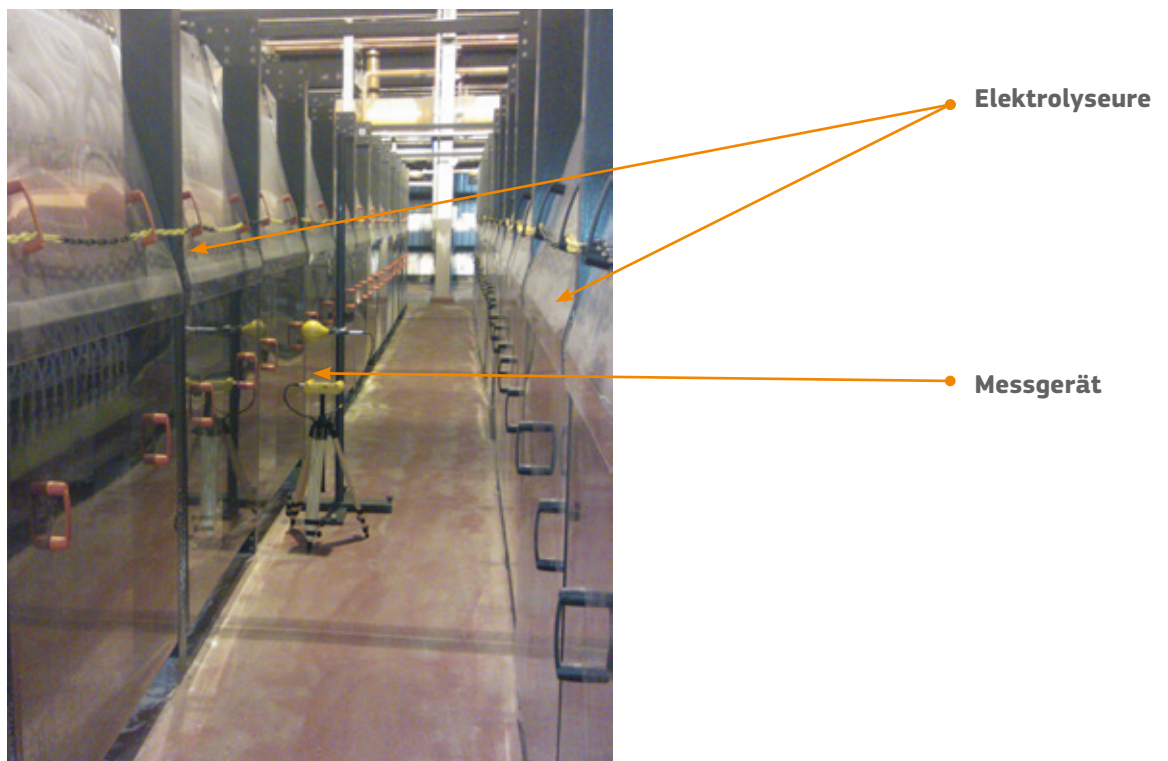
3.5.1 Zellenraum

Die zeitvariable magnetische Flussdichte und die statische magnetische Flussdichte wurden zwischen zwei Elektrolyseuren gemessen (Abbildung 3.5). Dabei wurden drei Messreihen durchgeführt:

- in regelmäßigen horizontalen Abständen quer zum Zwischenraum zwischen zwei Elektrolyseuren;
- in regelmäßigen horizontalen Abständen entlang der Mittellinie des Zwischenraums zwischen den Elektrolyseuren auf deren gesamter Länge;
- auf vertikaler Ebene entlang einem Elektrolyseur.

Aus diesen Messungen ergab sich die Exposition eines Arbeitnehmers, der zwischen den Elektrolyseuren im Zellenraum umherläuft, was als das schlimmste anzunehmende Expositionsszenario gilt.

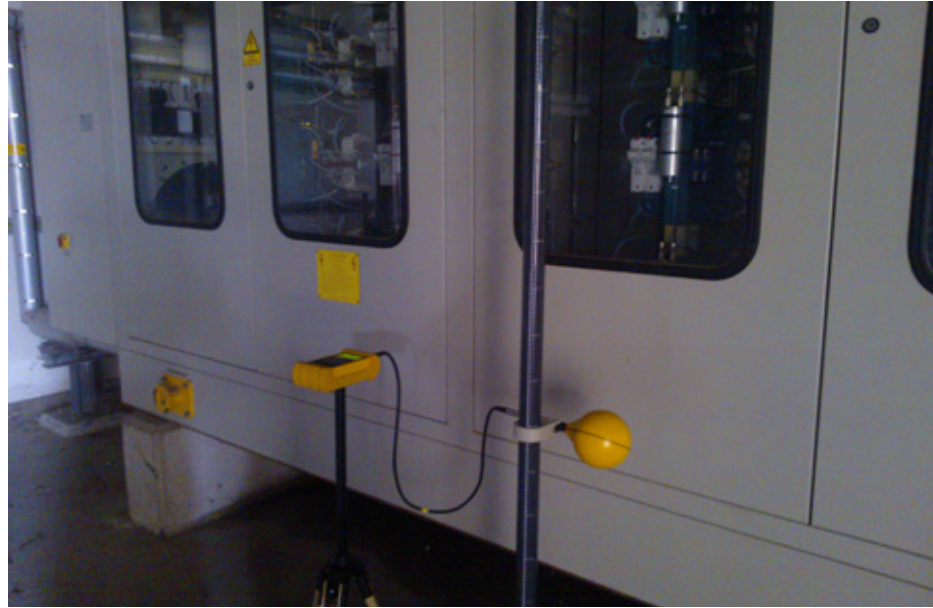
Abbildung 3.5 – Messungen zwischen zwei Elektrolyseuren



3.5.2 Gleichrichterbusch

Die zeitvariable magnetische Flussdichte und die statische magnetische Flussdichte wurden im Umkreis eines Thyristorgleichrichters (Abbildung 3.6), unterhalb der Sammelschienen und nahe der Wand zwischen Gleichrichter und Transformator gemessen.

Abbildung 3.6 – Messungen in der Nähe eines Thyristorgleichrichters



3.6 Ergebnisse der Expositionsbewertung

Die Ergebnisse der Expositionsmessungen wurden mit den entsprechenden Expositionsgrenzwerten und Auslöseschwellen verglichen. Im Falle der Elektrolyse sind folgende Werte für den Vergleich mit den Messergebnissen von Bedeutung:

- für statische Magnetfelder:
 - Expositionsgrenzwerte für die magnetische Flussdichte statischer Magnetfelder (bei normalen Arbeitsbedingungen);
 - Auslöseschwellen für die magnetische Flussdichte statischer Magnetfelder (Störung aktiver implantierter medizinischer Geräte, z. B. Herzschrittmacher);
 - Auslöseschwellen für die magnetische Flussdichte statischer Magnetfelder (Verletzungsgefahr durch die Anziehungskraft und Projektilwirkung im Streufeld der Quellen hoher Feldstärken);
- für zeitvariable Magnetfelder:
 - Auslöseschwellen für die magnetische Flussdichte zeitvariabler Magnetfelder;
 - die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte für zeitvariable Magnetfelder (für besonders gefährdete Arbeitnehmer).

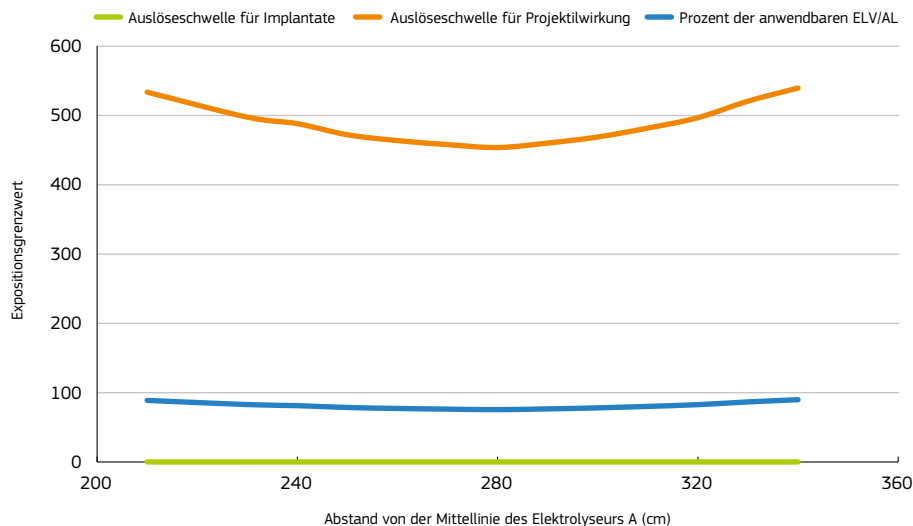
Die Abbildungen 3.7 bis 3.17 zeigen die signifikanten Ergebnisse der Expositionsbewertung und einige Beispiele für die Schaubilder, die anhand des theoretischen Modells erstellt wurden.

Dabei ist zu beachten, dass die Ergebnisse der Expositionsbewertung nicht unmittelbar mit der Bewertung anhand des Modells vergleichbar sind, da Letztere vor der Veröffentlichung der EMF-Richtlinie erfolgte und auf den im Vergleich zu den Auslöseschwellen der EMF-Richtlinie strengeren Arbeitsplatzreferenzwerten der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) basierten.

3.6.1 Zellenraum

Die folgenden Schaubilder zeigen die Variation der magnetischen Flussdichte im Verhältnis zu den anwendbaren oben genannten Expositionsgrenzwerten und Auslöseschwellen. Als Frequenz der Restwelligkeit des Gleichstroms wurden 300 Hz gemessen. Die Messgeräte erfassten auch Oberschwingungen im Bereich von 600 Hz und 900 Hz, die in diesem Fall jedoch nicht signifikant zur Gesamtexposition beitrugen.

Abbildung 3.7 – Variation der statischen magnetischen Flussdichte quer zum Zwischenraum zwischen zwei Elektrolyseuren



Hinweis: Die Messungen erfolgten in einer Höhe von 120 cm über dem Hallenboden.

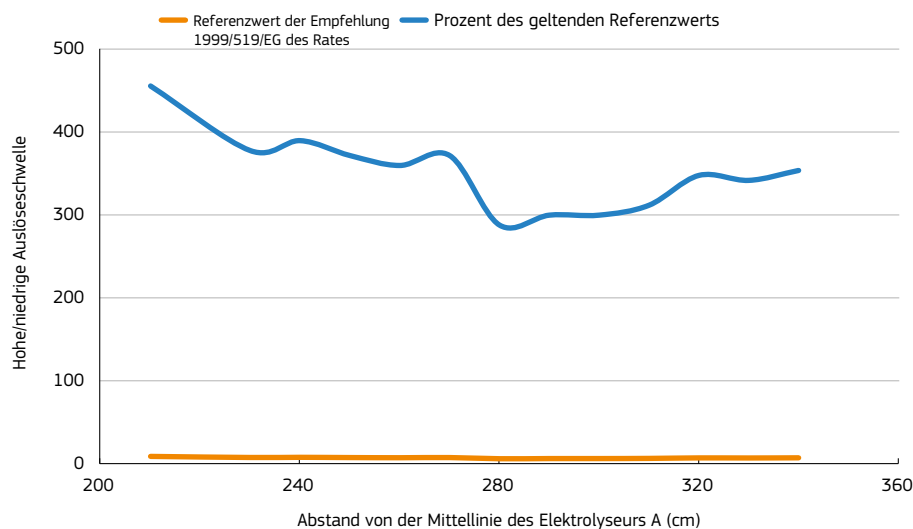
Expositionsgrenzwert (bei normalen Arbeitsbedingungen): 2 T

Auslöseschwelle für Implantate: 0,5 mT

Auslöseschwelle für Projektilwirkung: 3 mT

Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 5\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Expositionsgrenzwerte/Auslöseschwellen angegeben.

Abbildung 3.8 – Variation der zeitvariablen magnetischen Flussdichte bei einer Frequenz von 300 Hz in der Breite des Zwischenraums zwischen zwei Elektrolyseuren



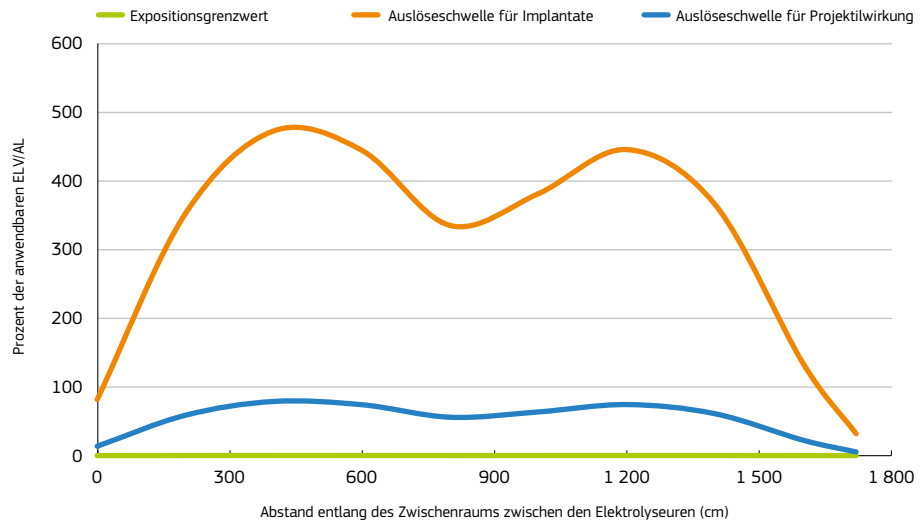
Hinweis: Die Messungen erfolgten in einer Höhe von 120 cm über dem Hallenboden.

Hohe und niedrige Auslöseschwellen für Magnetfelder mit 300 Hz: 1000 μ T

Referenzwert der Empfehlung 1999/519/EG des Rates für Magnetfelder mit 300 Hz: 16,7 μ T

Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 10\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Auslöseschwellen/Referenzwerte angegeben.

Abbildung 3.9 – Variation der statischen magnetischen Flussdichte entlang der Länge des Zwischenraums zwischen zwei Elektrolyseuren



Hinweis: Die Messungen erfolgten in einer Höhe von 120 cm über dem Hallenboden.

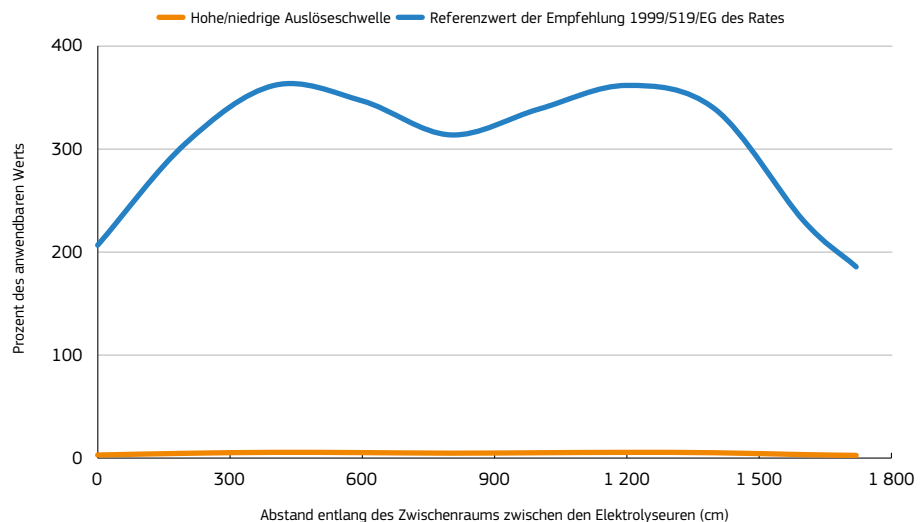
Expositionsgrenzwert (bei normalen Arbeitsbedingungen): 2 T

Auslöseschwelle für Implantate: 0,5 mT

Auslöseschwelle für Projekttilwirkung: 3 mT

Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 5\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Expositionsgrenzwerte/Auslöseschwellen angegeben.

Abbildung 3.10 – Variation der zeitvariablen magnetischen Flussdichte bei einer Frequenz von 300 Hz entlang der Länge des Zwischenraums zwischen zwei Elektrolyseuren



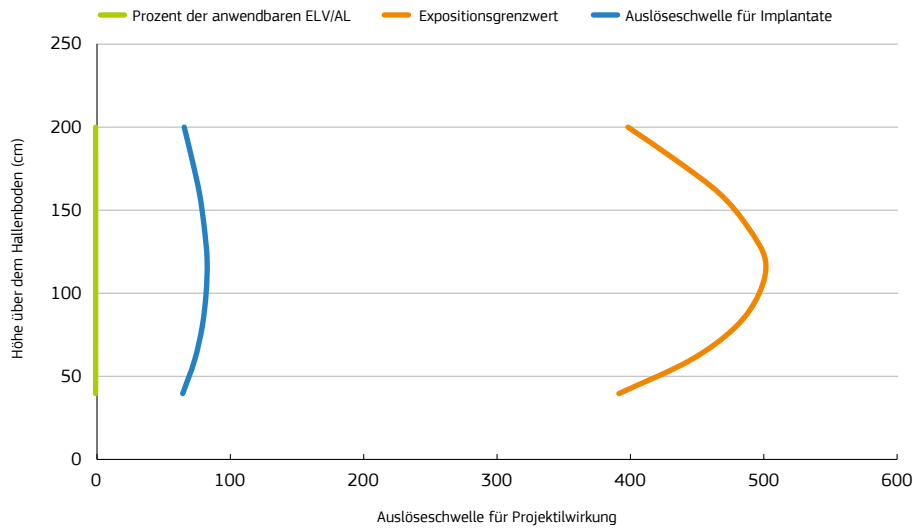
Hinweis: Die Messungen erfolgten in einer Höhe von 120 cm über dem Hallenboden.

Hohe und niedrige Auslöseschwellen für Magnetfelder mit 300 Hz: 1000 μ T

Referenzwert der Empfehlung 1999/519/EG des Rates für Magnetfelder mit 300 Hz: 16,7 μ T

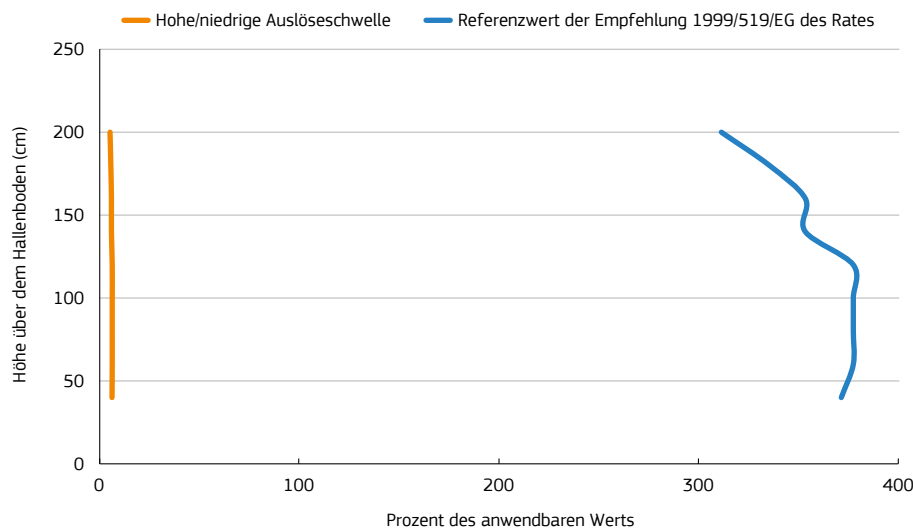
Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 10\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Auslöseschwellen/Referenzwerte angegeben.

Abbildung 3.11 – Variation der statischen magnetischen Flussdichte in Abhängigkeit von der Höhe neben einem Elektrolyseur



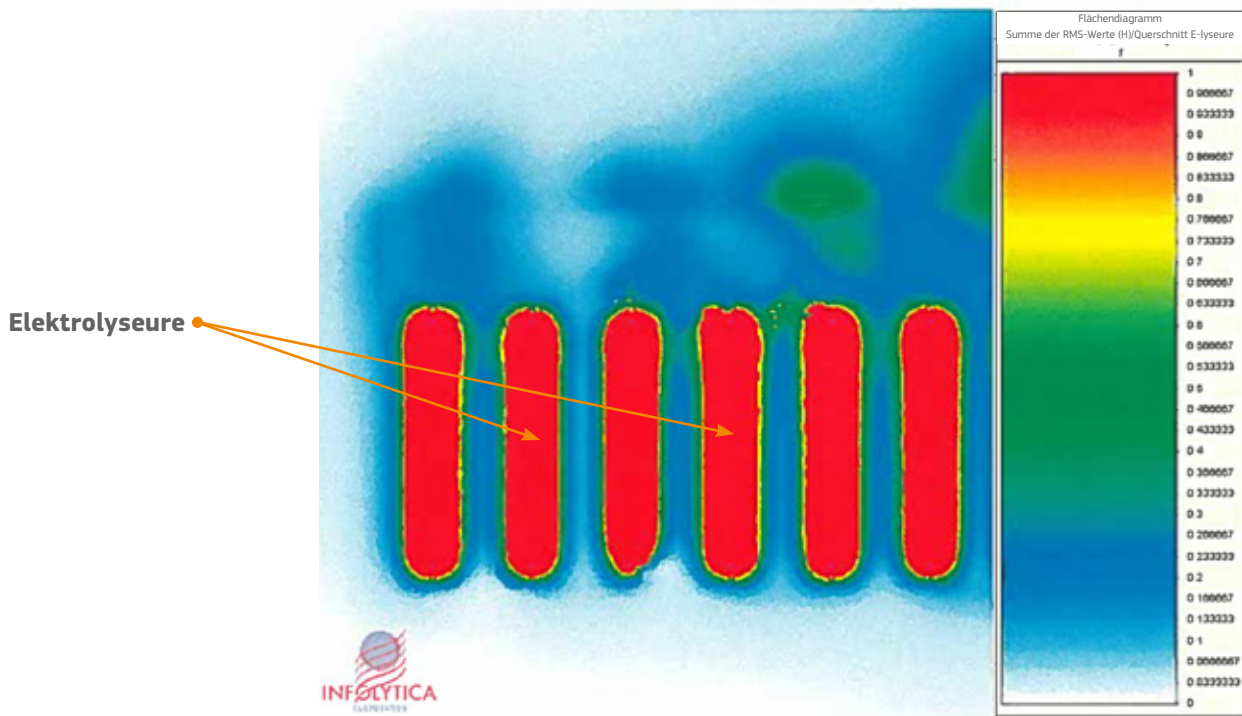
Hinweis: Die Messungen erfolgten im Abstand von 230 cm von der Mittellinie eines der Elektrolyseure.
 Expositionsgrenzwert (normale Arbeitsbedingungen): 2 T
 Auslöseschwelle für Implantate: 0,5 mT
 Auslöseschwelle für Projektilwirkung: 3 mT
 Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 5\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Expositionsgrenzwerte/Auslöseschwellen angegeben.

Abbildung 3.12 – Variation der zeitvariablen magnetischen Flussdichte bei einer Frequenz von 300 Hz in Abhängigkeit von der Höhe neben einem Elektrolyseur



Hinweis: Die Messungen erfolgten im Abstand von 230 cm von der Mittellinie eines der Elektrolyseure.
 Hohe und niedrige Auslöseschwellen für Magnetfelder mit 300 Hz: 1000 μ T
 Referenzwert der Empfehlung 1999/519/EG des Rates für Magnetfelder mit 300 Hz: 16,7 μ T
 Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 10\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Auslöseschwellen/Referenzwerte angegeben.

Abbildung 3.13 – Beispiel für eine Bewertung anhand eines aus dem theoretischen Modell abgeleiteten Schaubilds für den Zellenraum (Draufsicht)



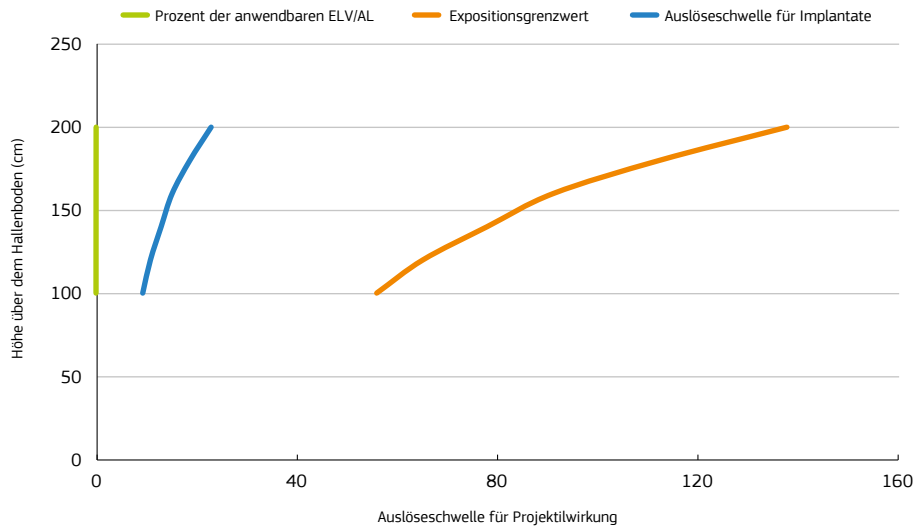
Die Ergebnisse der Expositionsbewertung im Zellenraum lieferten dem Unternehmen folgende Angaben:

- Die Exposition gegenüber Magnetfeldern, die von den Elektrolyseuren ausging, lag unterhalb der anwendbaren Expositionsgrenzwerte und Auslöseschwellen für direkte Wirkungen.
- Für Personen mit aktiven implantierten medizinischen Geräten können die statischen Magnetfelder im Zellenraum eine Gefahr darstellen.
- Die Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG des Rates wurden entlang der Elektrolyseure für zeitvariable Magnetfelder überschritten. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich besonders gefährdete Arbeitnehmer im Zellenraum aufhielten, war allerdings gering.

3.6.2 Gleichrichterbusch

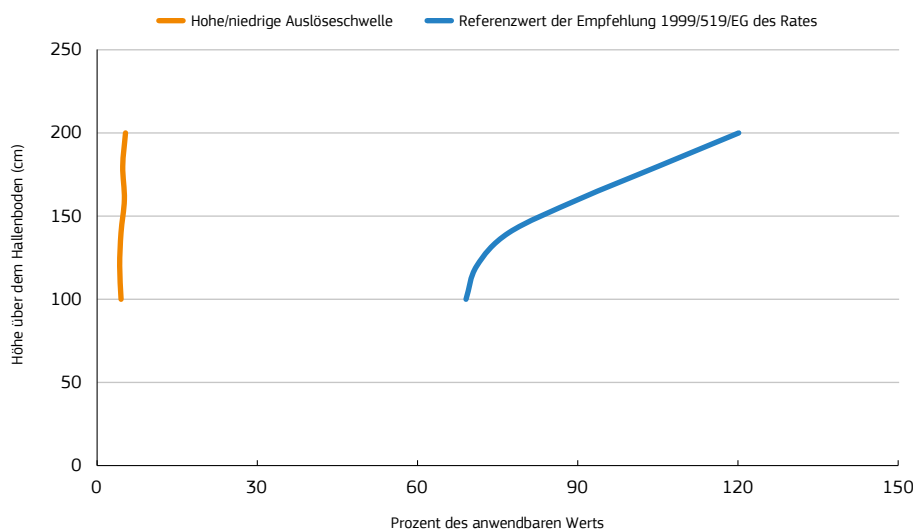
Die folgenden Schaubilder zeigen die Variation der magnetischen Flussdichte im Verhältnis zu den anwendbaren oben genannten Expositionsgrenzwerten und Auslöseschwellen. Die Frequenz der Restwelligkeit des Gleichstroms wurde mit 300 Hz bestimmt, hinzu kamen Felder mit einer Frequenz von 50 Hz, die durch die Transformatoren im Außenbereich erzeugt wurden.

Abbildung 3.14 – Variation der Flussdichte des statischen Magnetfelds unter der Gleichstromsammelschiene in Abhängigkeit von der Höhe



Hinweis: Die Gleichstromsammelschiene befand sich in einer Höhe von ca. 420 cm über dem Hallenboden.
 Expositionsgrenzwert (bei normalen Arbeitsbedingungen): 2 T
 Auslöseschwelle für Implantate: 0,5 mT
 Auslöseschwelle für Projektilwirkung: 3 mT
 Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 5\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Expositionsgrenzwerte/Auslöseschwellen angegeben.

Abbildung 3.15 – Veränderung der Flussdichte des zeitvariablen Magnetfelds unter der Gleichstromsammelschiene bei 300 Hz in Abhängigkeit von der Höhe



Hinweis: Die Gleichstromsammelschiene befand sich in einer Höhe von ca. 420 cm über dem Hallenboden.
 Hohe und niedrige Auslöseschwellen für Magnetfelder mit 300 Hz: 1000 μ T
 Referenzwert der Empfehlung 1999/519/EG des Rates für Magnetfelder mit 300 Hz: 16,7 μ T
 Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 10\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Auslöseschwellen/Referenzwerte angegeben.

Abbildung 3.16 – Beispiel für eine Bewertung anhand eines aus dem theoretischen Modell abgeleiteten Schaubilds für die Bereiche im Umkreis der isolierten Gleichstromsammelschiene (Querschnitt)

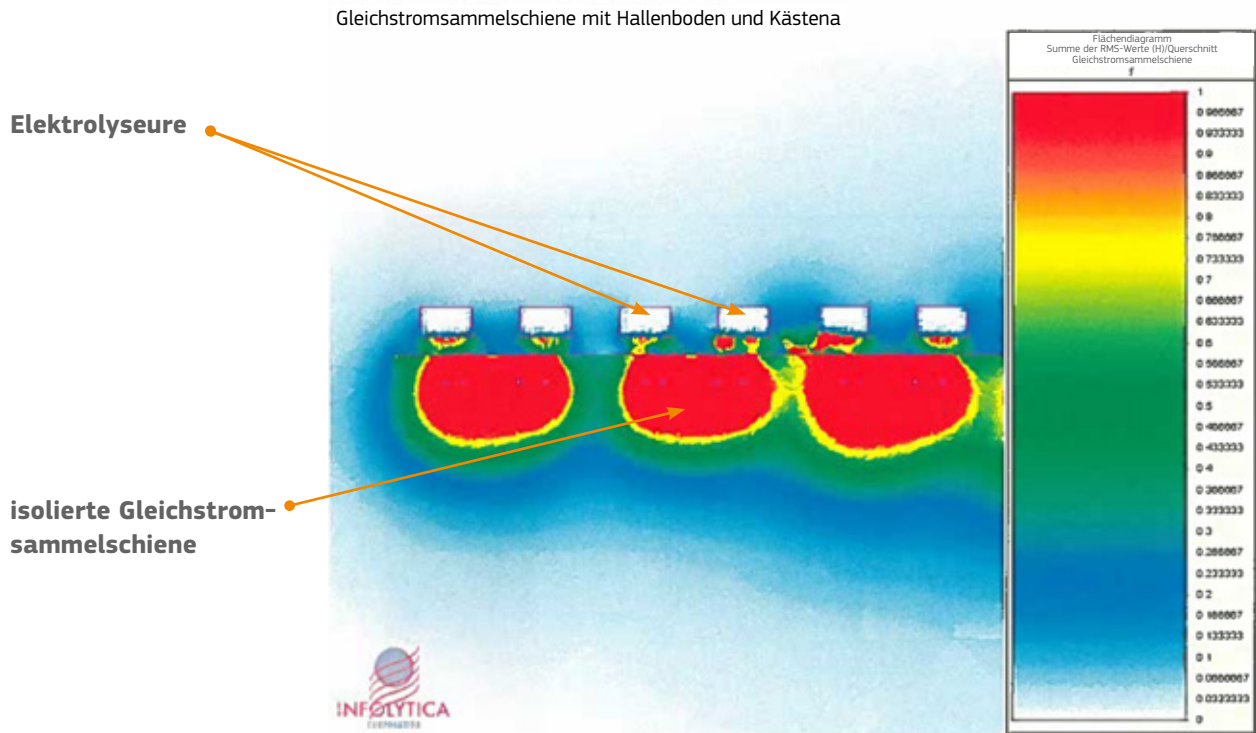
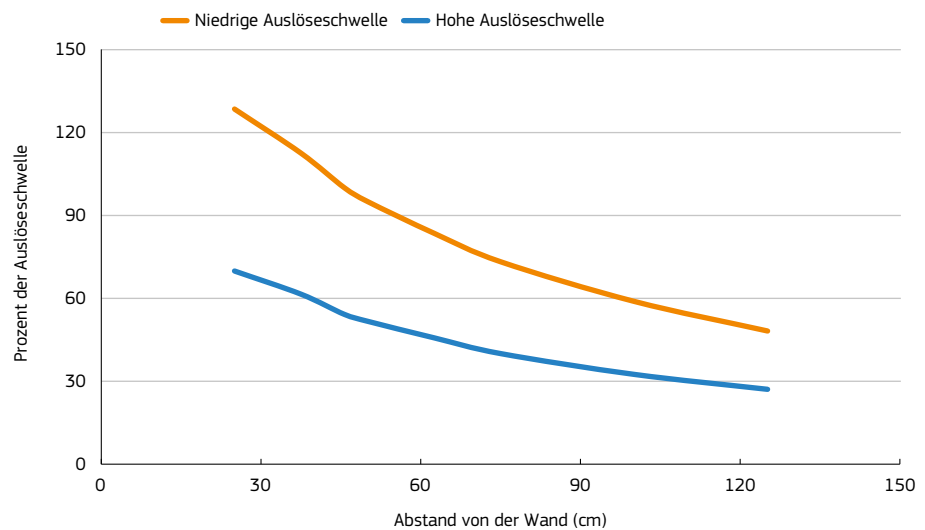


Abbildung 3.17 – Veränderung der Flussdichte des zeitvariablen Magnetfelds mit 50 Hz je nach Abstand von der Wand zwischen Thyristorgleichrichter und Transformler



Hinweis: Die Messungen erfolgten in einer Höhe von 120 cm über Grund.

Niedrige Auslöseschwelle für Magnetfelder mit 50 Hz: 1000 μT

Hohe Auslöseschwelle für Magnetfelder mit 50 Hz: 6000 μT

Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 10\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Auslöseschwellen/Referenzwerte angegeben.

Die Ergebnisse der Expositionsbewertung in der Gleichrichterbusch lieferten dem Unternehmen folgende Angaben:

- Die Exposition gegenüber Magnetfeldern, die von den Sammelschienen und den Thyristorgleichrichtern ausgehen, lagen auf Bodenhöhe unterhalb der Auslöseschwellen für direkte Wirkungen.
- Die Exposition gegenüber den zeitvariablen Magnetfeldern, die von dem Transformator auf der anderen Seite der hinter dem Gleichrichter befindlichen Wand erzeugt wurden, lag in der Gleichrichterbusch bis zu einem Abstand von 37 cm von der inneren Wand oberhalb der niedrigen Auslöseschwelle für zeitvariable magnetische Flussdichten.
- Die Exposition gegenüber zeitvariablen Magnetfeldern, die von dem Transformator erzeugt wurden, lag in der Gleichrichterbusch unterhalb der hohen Auslöseschwelle für zeitvariable magnetische Flussdichten.
- Für Personen mit aktiven implantierten medizinischen Geräten können die statischen Magnetfelder überall in den Gleichrichterbuschen eine Gefahr darstellen. Allerdings wurden die Warnhinweise und die Sicherheitsinformationen des Unternehmens für ausreichend erachtet.
- Die Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG des Rates wurden in Bezug auf zeitvariable Magnetfelder überschritten. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich besonders gefährdete Arbeitnehmer in den Gleichrichterbuschen aufhielten, war allerdings gering.

3.7 Risikobewertung

Gestützt auf die Expositionsbewertung des Beraters führte das Unternehmen für die Chlorerzeugungsanlage eine Risikobewertung in Bezug auf elektromagnetische Felder durch. Es folgte damit der auf der OiRA (der Plattform der EU-OSHA für die interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung) empfohlenen Vorgehensweise. Die Risikobewertung ergab:

- Besonders gefährdete Arbeitnehmer können in der Nähe der Elektrolyseure Gefahren ausgesetzt sein.
- Arbeitnehmer, insbesondere besonders gefährdete Arbeitnehmer, können in der Gleichrichterbusch infolge der Exposition gegenüber Magnetfeldern Gefahren ausgesetzt sein.

Tabelle 3.1 zeigt als Beispiel die Bewertung von Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder für die Chlorerzeugungsanlage.

Tabelle 3.1 – Bewertung der Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder für die Chlorerzeugungsanlage

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad		Wahrscheinlichkeit		Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen
			Gering	Schwerwiegend Lebensgefährlich	Unwahrscheinlich	Möglich Wahrscheinlich		
Direkte Wirkungen des Magnetfelds	Durchdachte Konstruktion der Chlorerzeugungsanlage zwecks Verringerung der Stärke der Magnetfelder	Techniker	✓		✓		Gering	Nicht erforderlich
	Zugangsbeschränkung für Gleichrichterbuchten	Besonders gefährdete Arbeitnehmer (einschließlich schwangere Arbeitnehmerinnen)	✓		✓		Gering	
	Angemessene Warnhinweise an deutlich sichtbaren Stellen							
	Unterweisung der Arbeitnehmer							
Indirekte Auswirkungen von Magnetfeldern (Störung medizinischer Implantate)	Kein Zutritt zur Chlorerzeugungsanlage für Arbeitnehmer mit medizinischen Implantaten	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	✓		✓		Gering	Nicht erforderlich
	Angemessene Warnhinweise an deutlich sichtbaren Stellen							
	Unterweisung der Arbeitnehmer							

3.8 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen

Da der EMF-Sicherheit der Anlage bereits in den ersten Planungsphasen ein hoher Stellenwert beigemessen worden war, waren mehrere Schutz- und Präventionsmaßnahmen eingebaut worden, beispielsweise:

- Die Stärke der zeitvariablen Magnetfelder, mit denen aufgrund der Restwelligkeit der Gleichstromversorgung für die Elektrolyseure gerechnet werden musste, wurde z. B. dadurch verringert, dass Zwölfpuls- anstelle von Sechspulsleichrichtern verwendet wurden.
- Die Fläche für die Anlage war groß genug, sodass Bereiche mit starken Magnetfeldern problemlos von den Arbeitnehmern abgegrenzt werden konnten.
- Auf dem gesamten Gelände wurden gut sichtbare Warnhinweise für starke Magnetfelder angebracht.
- Die Arbeitnehmer wurden über die mögliche Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern aufgeklärt und angewiesen, den Arbeitgeber zu informieren, wenn sie ein medizinisches Implantat trugen.

3.9 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse

Die Expositionsbewertung bestätigte, dass die Anlage in Bezug auf die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern gut konstruiert worden war, sodass sich aus dieser Bewertung keine zusätzlichen Schutzmaßnahmen ergaben.

3.10 Weiterführende Informationsquellen

Euro Chlor – *Electromagnetic Fields in the Chlorine Electrolysis Units. Health Effects, Recommended Limits, Measurement Methods and Possible Prevention Actions* (Elektromagnetische Felder in Chlorelektrolyseanlagen. Auswirkungen auf die Gesundheit, Grenzwertempfehlungen, Messmethoden und Präventionsmaßnahmen), 2014.

4 MEDIZINISCHER BEREICH

4.1 Arbeitsstätte

In einem Krankenhaus wurde die Abteilung für medizinische Physik gebeten zu bewerten, wie sich die Durchführung der EMF-Richtlinie auf die Tätigkeiten der Klinik auswirken könnte.

4.2 Art der Arbeit

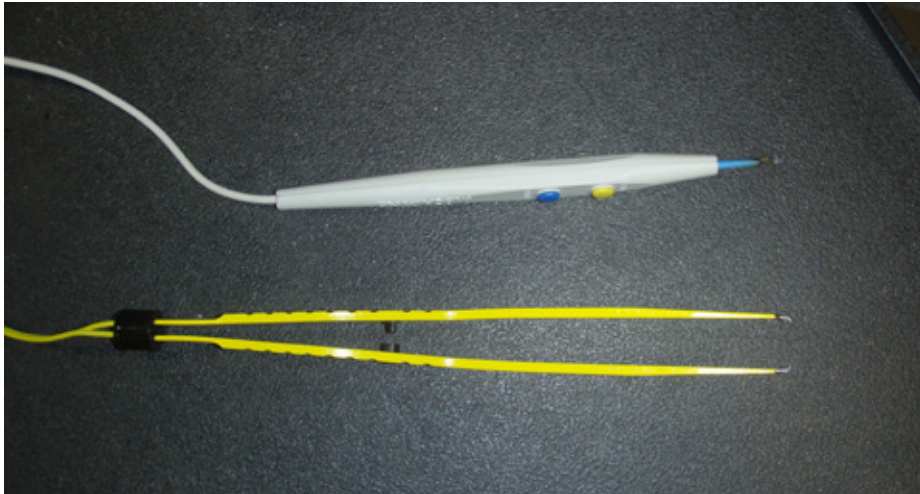
Bei der Behandlung, Überwachung und Diagnose der Patienten werden in großem Umfang elektrische Geräte eingesetzt. Zum Auftakt seiner Bewertung erfasste das Team der Medizinphysiker alle Geräte, die starke elektromagnetische Felder erzeugen könnten. Eine Überprüfung des Krankenhausinventars ergab, dass es drei Arten von Geräten gab, die bekanntermaßen starke elektromagnetische Felder erzeugten: Elektrochirurgiesysteme, transkranielle Magnetstimulatoren (TMS) und Geräte für die Kurzwellendiathermie. Die Geräte für die Kurzwellendiathermie wurden vom Krankenhaus zwar zu diesem Zeitpunkt nicht eingesetzt, aber dennoch in die Bewertung einbezogen. Außerdem wollte sich das Team anschauen, inwieweit empfindliche Patientenüberwachungsgeräte elektromagnetischen Störungen ausgesetzt werden könnten, insbesondere, wenn sie in der Nähe von Quellen starker elektromagnetischer Felder verwendet würden. Es stellte fest, dass insbesondere medizinische Geräte, die bei elektrochirurgischen Verfahren eingesetzt wurden (z. B. Beatmungsgeräte und Elektrokardiographen) für elektromagnetische Störungen anfällig wären.

4.3 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen

4.3.1 Elektrochirurgiesystem

Elektrochirurgiegeräte werden in Krankenhäusern verwendet, um menschliches Gewebe zu durchtrennen und/oder zu koagulieren, und kommen bei einer erheblichen Zahl chirurgischer Eingriffe zum Einsatz. Ihre Funktionsweise beruht darauf, dass elektrischer Strom mit hoher Spannung durch das zu operierende Gewebe geleitet wird. Üblicherweise werden die Systeme im Zwischenfrequenzbereich von ca. 300 kHz bis 1 MHz und einer Versorgungsleistung von 50 bis 300 W betrieben. Ein Elektrochirurgiesystem besteht aus einer Aktivelektrode, einem Generator sowie Verbindungskabeln vom Generator zur Aktivelektrode und zur Neutralelektrode bzw. geerdeten Plattenelektrode (Abbildung 4.1), die mit dem Körper des Patienten verbunden ist. Die Kabel, welche die Aktivelektrode (die elektrochirurgische Sonde) mit Strom versorgen, sind nicht immer abgeschirmt. Der Strom fließt durch das Gewebe des Patienten und wird über die Neutralelektrode in das Elektrochirurgiesystem zurückgeleitet.

Abbildung 4.1 – Aktivelektrode und Neutralelektrode samt Kabeln



4.3.2 Transkranielle Magnetstimulation

Bei der transkraniellen Magnetstimulation (TMS) erzeugt ein Gerät gezielt gepulste elektromagnetische Felder, mit denen im Gehirn Ströme ausgelöst werden; sie wird für verschiedene Zwecke verwendet (z. B. zur Diagnose von Gehirnerkrankungen und -verletzungen, zur Behandlung von Depressionen und in jüngster Zeit auch von Migräne). Ein TMS-Gerät besteht in der Regel aus einer Grundeinheit, die einen Hochspannungspuls erzeugt, und einer Stimulationsspule, die in der Hand gehalten wird (Abbildung 4.2). Der Handel bietet Geräte mit großvolumigen Hochspannungskondensatoren als Ladungsspeicher an. Diese Kondensatoren geben den Strom über eine Thyristorschaltung, die in wenigen Sekunden große Ströme richten kann, an die Spule ab. Zwei Arten von Spulen, die weithin gebräuchlich sind, werden im Krankenhaus verwendet: Ringspulen und Doppelringspulen (wobei es auch andere Spulenformen gibt).

Abbildung 4.2 – Doppelringspule für TMS-Gerät



4.3.3 Kurzwellendiathermie

Geräte für die Kurzwellendiathermie emittieren hochfrequente Strahlung von normalerweise 27,1 MHz. Sie werden in der Physiotherapie zur Behandlung von Muskeln und Gelenken eingesetzt. Es gibt zwei Anwendungsarten: kapazitiv, d. h., der Patient wird in das Hochfrequenzfeld zwischen zwei Plattenelektroden platziert (Abbildung 4.3), oder induktiv, d. h., das elektromagnetische Feld wird vermittels einer Spule angewendet.

Abbildung 4.3 – Kapazitive Kurzwellendiathermie



4.4 Anwendung der Geräte

4.4.1 Elektrochirurgiesystem

Normalerweise hält der Chirurg die Behandlungssonde während der Verwendung in der Nähe seines Oberkörpers. Die Kabel verlaufen möglicherweise in der Nähe der Mitglieder des Operationsteams, insbesondere in der Nähe von Hand und Arm des Chirurgen.

4.4.2 Transkranielle Magnetstimulation

Die Spule wird neben dem Kopf des Patienten platziert und erzeugt einen elektromagnetischen Impuls oder eine Serie solcher Impulse, durch die das Gehirn des Patienten stimuliert wird. Sie kann entweder in der richtigen Stellung befestigt oder von dem behandelnden Kliniker gehalten werden (Abbildung 4.4).

Abbildung 4.4 – TMS-Behandlung mit Rundspule



4.4.3 Kurzwellendiathermie

Das Team wurde darüber in Kenntnis gesetzt, dass die Kurzwellendiathermie zum damaligen Zeitpunkt im Krankenhaus nicht praktiziert wurde, obwohl sie früher von Physiotherapeuten angewendet worden war. Zwar kannte das Team die Arbeitsverfahren bei der Verwendung des Geräts nicht in allen Einzelheiten, beschloss aber, für den Fall, dass das Krankenhaus es in Zukunft wieder in Betrieb nehmen wolle, eine Bewertung durchzuführen.

4.5 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung

Die Medizinphysiker des Teams wussten, dass alle drei medizinischen Geräte, die sie erfasst hatten, starke elektromagnetische Felder erzeugten. Allerdings waren sie sich nicht sicher, ob die Beschäftigten infolge dieser Felder einer über die Grenzwerte (ELV) hinausgehenden Exposition ausgesetzt sein würden. So gelangten sie zu dem Schluss, dass eine eingehendere Bewertung und Messung der elektromagnetischen Felder notwendig war. Das Team wählte zwei Geräte für seine Messungen aus: das Elektrochirurgiesystem ConMed 5000 und das TMS-Gerät MAGSTIM 200. Es beschloss, zum aktuellen Zeitpunkt bei den Kurzwellendiathermiegeräten keine Messungen vorzunehmen.

Die Abteilung für Medizinphysik besitzt diverse Messsonden, die der Überwachung elektromagnetischer Felder dienen. Für die Messungen verwendete das Team eine isotrope (dreiaxiale) Sonde. Da die von den Geräten erzeugten elektromagnetischen Felder unterschiedliche Frequenzen aufweisen, mussten jeweils verschiedene Sonden verwendet werden.

4.6 Ergebnisse der Expositionsbewertung

4.6.1 Elektrochirurgiesystem

Das Elektrochirurgiesystem ConMed 5000 wurde im monopolaren Modus verwendet. Es kann im Elektrotomie- oder im Koagulationsmodus betrieben werden. Da erste Messungen ergeben hatten, dass im Elektrotomiemodus stärkere elektromagnetische Felder erzeugt wurden als im Koagulationsmodus, wurden die meisten Messungen in diesem Modus vorgenommen. Demnach lag die Feldfrequenz, die mit einem Oszilloskop gemessen und in Wellenform dargestellt wurde, bei 391 kHz. Die verwendete Stromleistung betrug ca. 200 W.

Im Umkreis der Behandlungssonden- und Rückleitungskabel wurden die elektrischen und magnetischen Felder gemessen. Da es sich um Felder im Zwischenfrequenzbereich handelte, waren für den Vergleich der Messergebnisse mit den Auslöseschwellen (AL) sowohl die AL für nichtthermische als auch diejenigen für thermische Wirkungen maßgeblich.

Die in Tabelle 4.1 aufgeführten Messergebnisse geben die magnetische Feldstärke in verschiedenen horizontalen Abständen von der Mitte, d. h. der halben Länge des Sondenkabels wieder. Aus diesen Ergebnissen extrapolierte das Team das Magnetfeld in 1 cm Abstand zum Kabel und errechnete, dass es 7 % der Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen betrug.

Die Bewertung des Magnetfelds im Umkreis des Systems ergab, dass die Exposition des Chirurgen und des übrigen medizinischen Personals im Operationssaal weder die in der EMF-Richtlinie niedergelegten Auslöseschwellen noch die in der Empfehlung 1999/519/EG genannten Referenzwerte überstieg.

Tabelle 4.1 – Magnetische Feldstärke in verschiedenen Abständen vom Behandlungssondenkabel in Prozent der Auslöseschwellen der EMF-Richtlinie und der Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG des Rates

Abstand vom Kabel (cm)	Magnetische Feldstärke (Am^{-1})	Magnetische Flussdichte (μT)	Nichtthermische Wirkungen		Thermische Wirkungen	
			Prozent der hohen/niedrigen Auslöseschwellen (%) ⁽¹⁾	Prozent der Auslöseschwellen für die Exposition von Gliedmaßen (%) ⁽²⁾	Prozent der Auslöseschwelle (%) ⁽³⁾	Prozent der Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG des Rates (%) ⁽⁴⁾
10	0,64	0,81	0,81	0,27	16	34
20	0,53	0,67	0,67	0,22	13	29
50	0,26	0,33	0,33	0,11	6,4	14
100	0,09	0,11	0,11	0,04	2,1	4,7
150	0,04	0,05	0,05	0,02	1,0	2,1

⁽¹⁾ Hohe/niedrige Auslöseschwelle für magnetische Flussdichte bei einer Frequenz von 391 kHz: 100 μT .

⁽²⁾ Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen für magnetische Flussdichte bei einer Frequenz von 391 kHz: 300 μT .

⁽³⁾ Auslöseschwelle für magnetische Flussdichte bei einer Frequenz von 391 kHz: 5,12 μT .

⁽⁴⁾ Referenzwert für magnetische Flussdichte bei einer Frequenz von 391 kHz laut Empfehlung 1999/519/EG des Rates: 2,35 μT .

Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 2,7$ dB angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt mit den Auslöseschwellen/Referenzwerten verglichen.

Das elektrische Feld wurde im Umkreis des Sonden- und des Rückleitungskabels gemessen. Dabei wurde festgestellt, dass das Rückleitungskabel ein weitaus stärkeres elektrisches Feld erzeugte als das Sondenkabel, Letzteres dürfte also abgeschirmt sein. Tabelle 4.2 zeigt die elektrische Feldstärke in Abhängigkeit vom Abstand zum Rückleitungskabel. Die Messungen erfolgten in verschiedenen horizontalen Abständen von der Mitte der Kabellänge. Das stärkste gemessene Feld, das sich in 10 cm Abstand vom Kabel befindet, liegt unterhalb der Auslöseschwelle. Allerdings geht aus den Ergebnissen hervor, dass die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte in etwa 20 cm Abstand zu diesem Kabel überschritten werden könnten.

Tabelle 4.2 – Elektrische Feldstärke in verschiedenen Abständen vom Rückleitungskabel in Prozent der Auslöseschwellen der EMF-Richtlinie und der Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG des Rates

Abstand vom Kabel (cm)	Elektrische Feldstärke (Vm^{-1})	Nichtthermische Wirkungen		Thermische Wirkungen	
		Prozent der niedrigen Auslöseschwelle (%) ⁽¹⁾	Prozent der hohen Auslöseschwelle (%) ⁽²⁾	Prozent der Auslöseschwelle (%) ⁽³⁾	Prozent der Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG des Rates (%) ⁽⁴⁾
10	116	68,2	19,0	19,0	133
20	92,5	54,4	15,2	15,2	106
30	66,8	39,3	11,0	11,0	76,8
50	48,5	28,6	8,0	8,0	55,8
100	11,9	7,0	2,0	2,0	13,7
150	6,55	3,9	1,1	1,1	7,5

⁽¹⁾ Niedrige Auslöseschwelle für elektrische Feldstärken im Frequenzbereich 3 kHz bis 10 MHz: 170 Vm^{-1} .

⁽²⁾ Hohe Auslöseschwelle für elektrische Feldstärken im Frequenzbereich 3 kHz bis 10 MHz: 610 Vm^{-1} .

⁽³⁾ Hohe Auslöseschwelle für elektrische Feldstärken im Frequenzbereich 3 kHz bis 10 MHz: 610 Vm^{-1} .

⁽⁴⁾ Referenzwert der Empfehlung 1999/519/EG des Rates für elektrische Feldstärken im Frequenzbereich 150 kHz bis 1 MHz: 87 Vm^{-1} .

Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 0,8 \text{ dB}$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt mit den Auslöseschwellen/Referenzwerten verglichen.

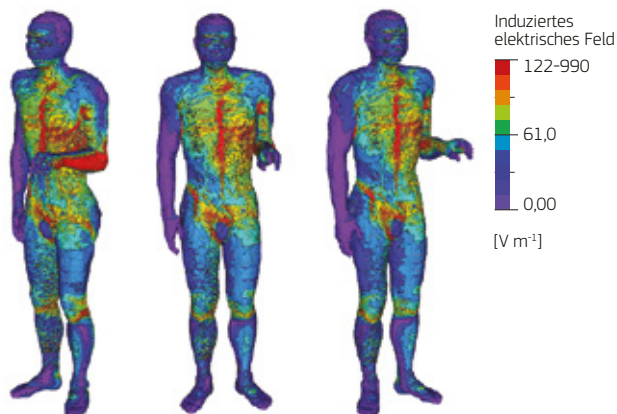
Der Vollständigkeit halber erstellte das Team mithilfe seiner Modellierungssoftware eine Prognose für die Exposition der Patienten und passte die Konfiguration der Software so an, dass die Exposition des Chirurgen im Hinblick auf die Expositionsgrenzwerte abgebildet wurde. Sowohl die induzierten elektrischen Felder als auch die SAR-Werte wurden für eine Expositionssituation berechnet, bei der das Elektrochirurgiesystem in Betrieb ist und die Kabel im Abstand von 1 cm entlang dem Arm des Chirurgen verlaufen.

Es wurde berechnet, welche elektrischen Feldstärken in verschiedenen Gewebearten induziert wurden (Tabelle 4.3). Der höchste Wert ergab sich mit 628 mVm^{-1} in Knochengewebe. Da dies 0,6 % des Expositionsgrenzwerts für gesundheitliche Wirkungen entspricht, hatte das Team die Gewissheit erlangt, dass die Expositionsgrenzwerte für nichtthermale Wirkungen bei dem Chirurgen nicht überschritten werden. Abbildung 4.5 zeigt die Verteilung des induzierten elektrischen Feldes in einem Menschmodell. Natürlich ist es möglich, dass die Kabel des Elektrochirurgiesystems näher als 1 cm an den Körper des Chirurgen heranreichen oder ihn sogar berühren. Dennoch gelangte das Team zu dem Schluss, dass aufgrund der niedrigen Werte des induzierten elektrischen Feldes bei dem untersuchten Gerät keine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen zu erwarten war.

Tabelle 4.3 – Induziertes elektrisches Feld in Prozent des Expositionsgrenzwerts (ELV) für gesundheitliche Wirkungen

Gewebeart	Induziertes elektrisches Feld (mVm^{-1}) ⁽¹⁾	% des ELV für gesundheitliche Wirkungen
Knochengewebe	628	0,60 %
Fettgewebe	493	0,47 %
Hautgewebe	461	0,44 %
Hirngewebe	146	0,14 %
Rückenmarksgewebe	275	0,26 %
Netzhautgewebe	103	0,10 %

⁽¹⁾ Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen bei internen elektrischen Feldstärken im Frequenzbereich 3 kHz bis 10 MHz: 105 Vm^{-1} (RMS-Wert).

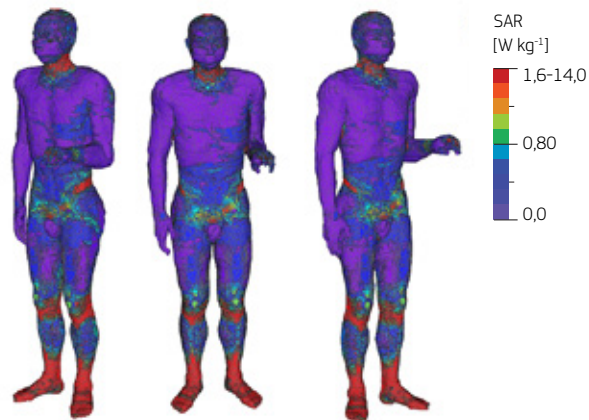
Abbildung 4.5 – Verteilung des durch die Exposition gegenüber dem Kabel des Elektrochirurgiegeräts bei 391 kHz induzierten elektrischen Felds im Menschmodell

Aus der Berechnung der Ganzkörper- und der lokalen SAR-Werte (Tabelle 4.4) ergab sich, dass die Expositionsgrenzwerte an der Position des Chirurgen nicht überschritten wurden. Abbildung 4.6 zeigt die Verteilung der SAR-Werte im Menschmodell.

Tabelle 4.4 – Höchste SAR-Werte für die betrachtete Expositionsposition im Vergleich zu den Expositionsgrenzwerten

Position	SAR (Wkg^{-1})	ELV (Wkg^{-1})	% des ELV
Gemittelte Ganzkörper-SAR	0,0338	0,4	8,4
Lokaler SAR-Spitzenwert in 10 g Gewebe in Kopf und Rumpf	0,780	10	7,8
Lokaler SAR-Spitzenwert in 10 g Gewebe in Gliedmaßen	1,75	20	8,7

Abbildung 4.6 – Verteilung der spezifischen Energieabsorptionsrate (SAR) im Menschmodell infolge der Exposition gegenüber dem durch das Elektrochirurgiesystem erzeugte Feld mit einer Frequenz von 391 kHz



Durch die Bewertung verschaffte sich das Team Gewissheit, dass für den Chirurgen und andere Krankenhausmitarbeiter keine Exposition gegenüber Feldern zu erwarten war, bei denen die Expositionsgrenzwerte überschritten würden. Allerdings stellte das Team auch fest, dass der Patient, insbesondere in der Nähe der Neutralelektrode, Feldern ausgesetzt werden könnte, bei denen die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten werden könnten. Dies wurde im Allgemeinen jedoch nicht als problematisch erachtet, da die Exposition im Rahmen des chirurgischen Eingriffs gerechtfertigt wäre. Allerdings müsse darauf geachtet werden, wenn ein Patient ein aktives implantiertes medizinisches Gerät trage. Als weiteres potenzielles Risiko wurde die elektromagnetische Störung empfindlicher medizinischer Geräte im Operationsaal erkannt; das Team hatte erfahren, dass solche Störungen aufgetreten waren, wenn die Behandlungssonde in die Nähe dieser Geräte geraten war.

4.6.2 TMS-Gerät

Das TMS-Gerät MAGSTIM 200 ist mit zwei von Hand zu bedienenden Instrumenten ausgestattet, einer Rundspule und einer Doppelrundspule. Der Kliniker stellt die Ausgangsleistung des Generators in Prozent der Höchstleistung ein. Außerdem kann er je nach Einstellung einen einzigen Puls oder eine Pulsserie abgeben.

Vorläufige Messungen ergaben, dass die Ringspule die stärksten Magnetfelder erzeugte. Diese Spule (Abbildung 4.7) befindet sich in einem Kunststoffgehäuse und besteht aus Kupfer, da dieses Material einen geringen elektrischen Widerstand und eine hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist. Die Spule besteht aus einer konzentrischen Wicklung mit 14 Windungen, deren Durchmesser 70 bis 122 mm beträgt.

Für seine Messungen verwendete das Team die Rundspule, wobei es den Generator auf 100 % seiner maximalen Ausgangsleistung im Einzelpulsmodus einstellte. Der Hersteller hatte Angaben zu den Pulseigenschaften gemacht (Abbildung 4.8).

Abbildung 4.7 – Die Rundspule des TMS-Geräts

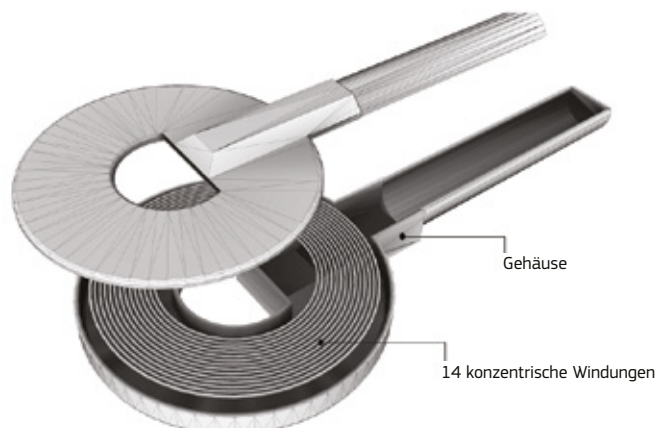
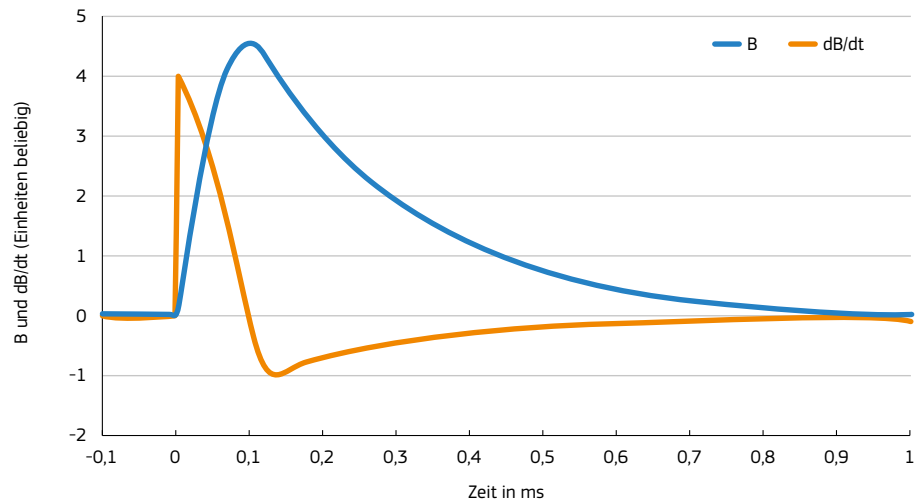
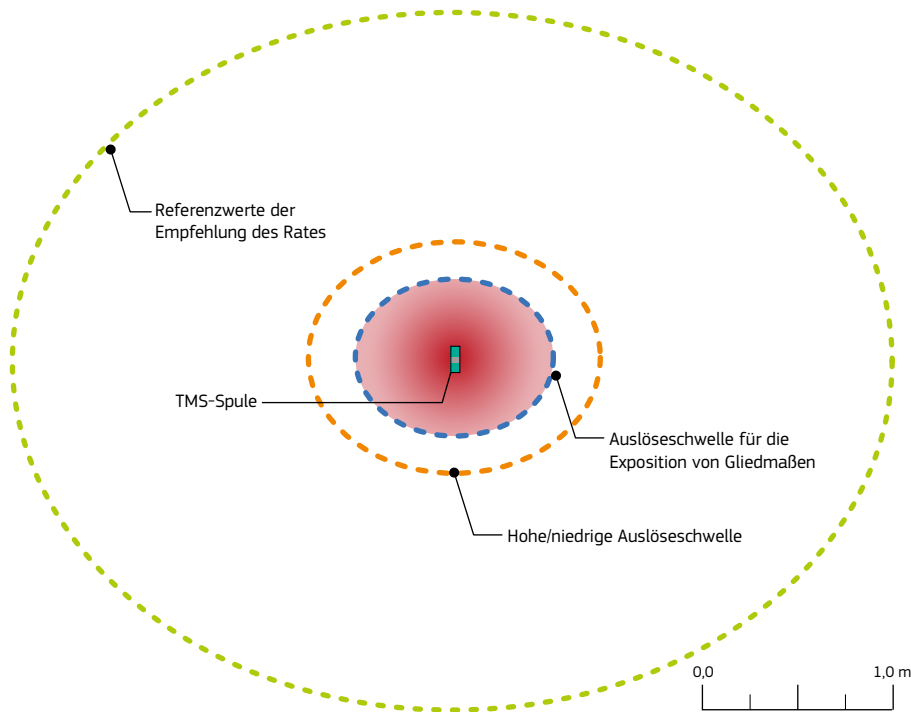


Abbildung 4.8 – Angaben des Herstellers zu den Eigenschaften des Einzelpulses



Erwartungsgemäß wurden die stärksten Felder direkt vor und in der Mitte der Spule gemessen; Abbildung 4.9 zeigt, in welchen Bereichen die Auslöseschwellen und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten werden könnten. Bei einer typischen Haltung des Behandlers (bei der sich der Griff 11 cm unterhalb der Spulenmitte befindet) wurde die magnetische Flussdichte mit 5600 % der Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen gemessen.

Abbildung 4.9 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen (blau), die hohen/niedrigen Auslöseschwellen (rot) und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte (grün) im Umkreis des TMS-Geräts überschritten werden könnten



Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 10\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden bei der Bewertung der oben gezeigten Abstände gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt mit den Auslöseschwellen/Referenzwerten verglichen.

Das Team stellte fest, dass die Exposition des Kliniklers mit hoher Wahrscheinlichkeit über die Auslöseschwelle hinausging. Auch in diesem Fall modellierte es die potenzielle Exposition des Kliniklers in Bezug auf die Expositionsgrenzwerte mit dem Computer. Die Modellierung ging von zwei Positionen des Kliniklers aus, bei der ersten hielt er die Spule 30 cm vom Körper, bei der zweiten 15 cm vom Rumpf entfernt. Die Modellierung ergab, dass die Expositionsgrenzwerte um bis zu 35 700 % überschritten werden könnten (Tabelle 4.5). Die Abbildungen 4.10 und 4.11 zeigen die Verteilung des induzierten elektrischen Felds in einem Menschmodell für beide Positionen.

Tabelle 4.5 – Per Computer modellierte Werte für das induzierte elektrische Feld im Vergleich mit den Expositionsgrenzwerten

Position	Induziertes elektrisches Feld (Vm^{-1})	% des Expositionsgrenzwerts für gesundheitliche Wirkungen ⁽¹⁾
Spule in 30 cm Abstand vom Körper	265 (Knochengewebe)	24 100 %
Spule in 15 cm Abstand vom Rumpf	393 (Knochengewebe)	35 700 %

⁽¹⁾ Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen bei internen elektrischen Feldstärken im Frequenzbereich 1 Hz bis 3 kHz: $1,1 Vm^{-1}$ (höchster Wert).

Abbildung 4.10 – Verteilung des durch die Exposition gegenüber der TMS-Spule induzierten elektrischen Felds im Menschmodell bei einem Abstand der Spule zum Körper von 30 cm

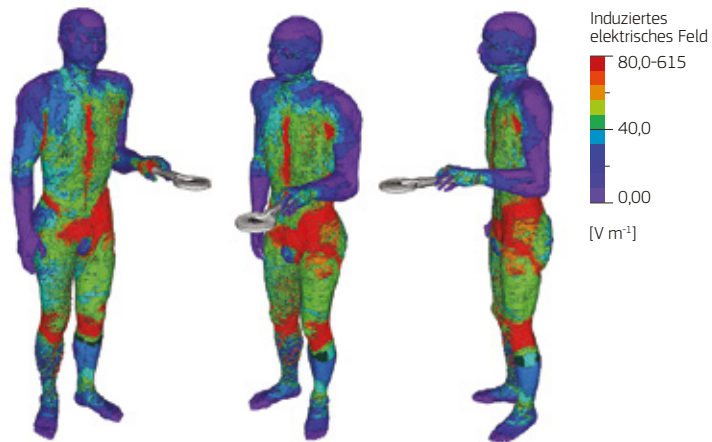
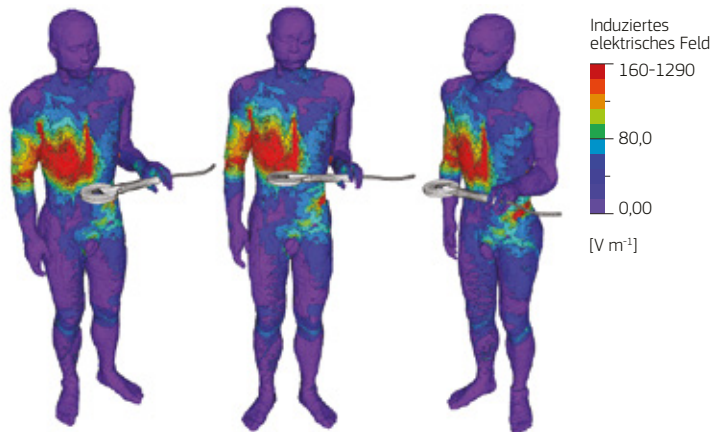


Abbildung 4.11 – Verteilung des durch die Exposition gegenüber der TMS-Spule induzierten elektrischen Felds im Menschmodell bei einem Abstand der Spule zum Körper von 15 cm



Das Team stellte fest, dass der Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen mit hoher Gewissheit überschritten würde, wenn der Kliniker die Spule in der Hand hält. Auch die Störung eines aktiven implantierten medizinischen Geräts könnte ein Risiko darstellen. Die Störung anderer Krankenhausgeräte wurde im Vergleich zum Elektrochirurgiesystem als weniger schwerwiegendes Problem erachtet, da das TMS-Gerät im Gegensatz zu Letzterem in der Regel nicht in Bereichen verwendet wurde, in denen sich empfindliche medizinische Geräte befanden.

4.6.3 Kurzwellendiathermie

Obwohl das Team auf eine Bewertung der im Krankenhaus vorhandenen Kurzwellendiathermiegeräte verzichtete, war es sich darüber bewusst, dass diese bei Physiotherapeuten und eventuell auch anderen Mitarbeitern möglicherweise zu hohen Expositionen führen könnten. Bewertungen ähnlicher Geräte in anderen Einrichtungen hatten ergeben, dass die Auslöseschwellen bei der kapazitiven Kurzwellendiathermie im Abstand von ca. 2 m und bei der induktiven Kurzwellendiathermie im Abstand von 1 m von den Geräten überschritten werden könnten. Das Team gelangte zu dem Schluss, dass vor einer Wiederinbetriebnahme der eigenen Geräte eine weitere Bewertung erfolgen müsse. Nur unter dieser Voraussetzung wäre es möglich, den Physiotherapeuten sichere Arbeitspraktiken (z. B. Sicherheitsabstände) zu empfehlen und festzustellen, ob die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte in Bereichen, die von besonders gefährdeten Arbeitnehmern betreten werden könnten, überschritten werden könnten.

4.7 Risikobewertung

Gestützt auf die Messungen des Medizinphysikerteams, die nach der auf der OiRA (der Plattform der EU-OSHA für die interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung) empfohlenen Vorgehensweise erfolgt waren, führte das Krankenhaus Risikobewertungen für das Elektrochirurgiesystem (Tabelle 4.6) und das TMS-Gerät (Tabelle 4.7) durch. Die Risikobewertungen führten zu folgenden Schlussfolgerungen:

4.7.1 Elektrochirurgiesystem

- Bei der Verwendung dieses Systems ist eine Exposition des Chirurgen oder sonstiger Krankenhausmitarbeiter über die Expositionsgrenzwerte hinaus unwahrscheinlich.
- Möglich ist eine elektromagnetische Störung aktiver implantierter medizinischer Geräte und sonstiger empfindlicher medizinischer Geräte, die sich im selben Raum befinden.

4.7.2 TMS-Gerät

- Bei der Verwendung dieses Systems ist es wahrscheinlich, dass der Kliniker und eventuell auch weitere Krankenhausmitarbeiter einer Exposition ausgesetzt werden, bei der die Grenzwerte womöglich erheblich überschritten werden.
- Potenziell werden aktive implantierte medizinische Geräte elektromagnetischen Störungen ausgesetzt.
- Elektromagnetische Störungen empfindlicher medizinischer Geräte sind wenig wahrscheinlich, da das Gerät nicht in der Nähe solcher Geräte verwendet wird.

Das Krankenhaus erstellte auf der Grundlage der Risikobewertung einen Aktionsplan und dokumentierte diesen.

Tabelle 4.6 – Bewertung der Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder für das Elektrochirurgiesystem

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad		Wahrscheinlichkeit		Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen
			Gering	Schwerwiegend Lebensgefährlich	Unwahrscheinlich	Möglich Wahrscheinlich		
Direkte Wirkungen des EMF	Die Modellierung ergab, dass die Expositionsgrenzwerte bei den Arbeitnehmern nicht überschritten werden	Chirurg und sonstige Mitglieder des Operationsteams	✓		✓		Gering	Nicht erforderlich
Indirekte Auswirkungen des EMF (Auswirkung auf aktive implantierte medizinische Geräte und empfindliche medizinische Geräte)	Keine	Chirurg und sonstige Mitglieder des Operationsteams Patient	✓		✓		Gering	Aufklärung der Arbeitnehmer über das Risiko einer potenziellen Störung empfindlicher medizinischer Geräte Aufforderung der Arbeitnehmer, jegliche Störungen medizinischer Geräte an die Medizinphysiker zu melden Das Team der Medizinphysiker erwägt, die Chirurgen im Hinblick auf den sicheren Mindestabstand der Behandlungssonde und der Kabel zu aktiven implantierten medizinischen Geräten und anderen empfindlichen medizinischen Geräten zu beraten

Tabelle 4.7 – Bewertung der Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder für die transkranielle Magnetstimulation (TMS-Gerät)

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad			Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen
			Gering	Schwerwiegend Lebensgefährlich	Wahrscheinlichkeit		
<p>Direkte Wirkungen des EMF</p> <p>Die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen könnten bei dem Kliniker, der das Gerät bedient, überschritten werden</p> <p>Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten in einem Abstand von bis zu 235 cm von der Spule überschritten werden</p>	Keine	<p>Kliniker</p> <p>Besonders gefährdete Arbeitnehmer (schwangere Arbeitnehmerinnen)</p>	✓		✓	Mittel	<p>Schwangeren Arbeitnehmerinnen wird untersagt, das Gerät zu verwenden oder sich während dessen Verwendung im selben Raum aufzuhalten</p> <p>Das Gerät wird mit Warnhinweisen versehen</p> <p>Die Spule wird nach Möglichkeit an einer Halterung befestigt</p>
<p>Indirekte Auswirkungen des EMF (Auswirkung auf aktive implantierte medizinische Geräte)</p> <p>Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten in einem Abstand von bis zu 235 cm von den Elektroden überschritten werden</p>	Keine	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	✓		✓	Mittel	<p>Die Arbeitnehmer werden über diese Gefahr unterrichtet</p> <p>Arbeitnehmern mit aktiven implantierten medizinischen Geräten wird untersagt, das Gerät zu verwenden oder sich während dessen Verwendung im selben Raum aufzuhalten</p> <p>Patienten mit aktiven implantierten medizinischen Geräten dürfen nicht mit dem Gerät behandelt werden</p> <p>Das Gerät wird mit Warn- und Verbotshinweisen versehen</p>

4.8 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen

Vor der Bewertung der Messungen bestanden keine spezifischen Schutzmaßnahmen zur Begrenzung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern.

4.9 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse

Auf der Grundlage der Bewertung der Messungen und nach einer Einschätzung der mit den Geräten einhergehenden Gefahren erstellte das Krankenhaus einen Aktionsplan und beschloss folgende zusätzliche Schutzmaßnahmen:

4.9.1 Elektrochirurgiesystem

In Bezug auf das Elektrochirurgiesystem:

- Aufklärung der Arbeitnehmer über das Risiko einer potenziellen Störung empfindlicher medizinischer Geräte;
- Aufforderung der Arbeitnehmer, jegliche Störungen medizinischer Geräte an die Medizinphysiker zu melden;
- das Team der Medizinphysiker erwägt, die Kliniker im Hinblick auf den sicheren Mindestabstand der Behandlungszone und der Kabel zu aktiven implantierten medizinischen Geräten und anderen empfindlichen medizinischen Geräten zu beraten.

4.9.2 TMS-Gerät

In Bezug auf das TMS-Gerät:

- Schwangeren Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern mit aktiven implantierten medizinischen Geräten wird untersagt, das Gerät zu verwenden oder sich während seiner Verwendung im selben Raum aufzuhalten.
- Patienten mit aktiven implantierten medizinischen Geräten dürfen nicht behandelt werden.
- Warnhinweise für starke Magnetfelder und Verbotshinweise für Träger aktiver implantierter medizinischer Geräte werden angebracht (Abbildung 4.12).
- Nach Möglichkeit wird die Spule an einem Präzisionsmanipulator befestigt, damit der Kliniker während der Behandlung einen größeren Abstand von ihr einhalten kann.
- Bei Bedarf würde das Team der Medizinphysiker die Konstruktion eines ferngesteuerten Manipulators erwägen, der es dem Kliniker ermöglicht, während der Behandlung Abstand von der Spule zu halten.

Abbildung 4.12 – Beispiele für Warnhinweise für starke Magnetfelder und das Verbotssymbol für Träger aktiver implantierter medizinischer Geräte



**Achtung
Dieses Gerät erzeugt
starke Magnetfelder**



**Kein Zutritt für
Träger aktiver implantierter
medizinischer Geräte**

4.9.3 Kurzwellendiathermie

In Bezug auf die Kurzwellendiathermie:

- Das Team der Medizinphysiker fordert die Physiotherapeuten des Krankenhauses auf, sie vor der Wiederaufnahme von Kurzwellendiathermiebehandlungen zu informieren, damit bei Bedarf eine Risikobewertung mit Bezug auf elektromagnetische Felder erfolgen kann und geeignete Kontrollmaßnahmen ergriffen werden können.

5 KONSTRUKTIONSWERKSTATT

5.1 Arbeitsstätte

Ein Ingenieursunternehmen wollte bewerten, wie sich die Durchführung der EMF-Richtlinie auf seine Tätigkeit auswirken würde. Die Konstruktionswerkstatt des Unternehmens ist mit verschiedenen elektrischen Arbeitsmitteln ausgestattet, u. a.:

- Magnetpulverprüfgerät,
- Entmagnetisiergerät,
- Schleifmaschine,
- Blechschneidemaschine,
- Bandsäge,
- maschinenbetriebene Bügelsäge,
- Kappsäge,
- Fräsmaschine (motorbetrieben),
- Standbohrmaschine,
- Heizdraht-Biegemaschine,
- Drehmaschinen,
- Handbohrer,
- Schleifscheibe.

5.2 Art der Arbeit

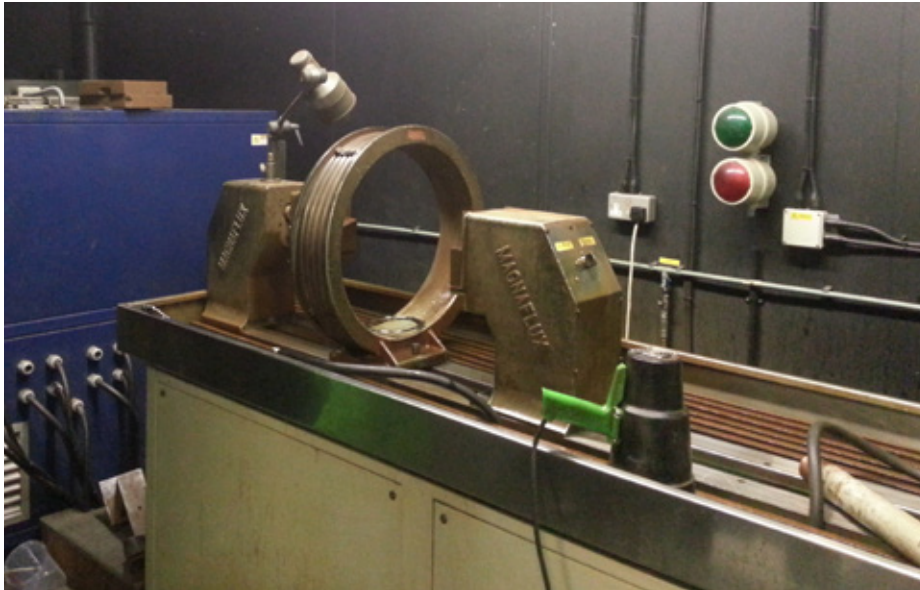
Das Unternehmen war sich darüber bewusst, dass einige seiner Geräte, beispielsweise das für zerstörungsfreie Prüfungen verwendete Magnetpulverprüfgerät und das zur Entmagnetisierung von Bauteilen verwendete Entmagnetisiergerät, Quellen elektromagnetischer Felder darstellten. Darüber hinaus wollte das Unternehmen auch wissen, welche anderen Werkzeuge elektromagnetische Felder von signifikanter Stärke erzeugen könnten.

5.3 Verwendung der Geräte

5.3.1 Magnetpulverprüfgerät

Das Magnetpulverprüfgerät (Abbildung 5.1) wird zur zerstörungsfreien Prüfung von Metallbauteilen verwendet. Bei der Magnetpulverprüfung wird ein ferromagnetisches Werkstück durch Strom magnetisiert, und das so erzeugte Magnetfeld wird durch oberflächennahe Risse gestört. Ein auf die Oberfläche aufgebrachtes ferromagnetisches farbiges Prüfmittel lässt diese Risse unter einer geeigneten Lichtquelle sichtbar werden. Der Arbeitnehmer, der das Werkstück prüft, führt diese Tätigkeit in der Regel in unmittelbarer Nähe zum Gerät aus.

Abbildung 5.1 – Magnetpulverprüfgerät



5.3.2 Entmagnetisiergerät

Das Unternehmen verwendet ein Entmagnetisiergerät (Abbildung 5.2), um Metallbauteile nach der Magnetpulverprüfung zu entmagnetisieren. Die Bauteile werden von Hand auf einen Räderschleppwagen gehoben, der dann durch die Spule des Entmagnetisierers gefahren wird. Der Bediener schiebt den Schleppwagen mit dem Werkstück von Hand durch den Entmagnetisierer. Auf der anderen Seite des Entmagnetisierers wird das Bauteil wieder vom Schleppwagen heruntergenommen.

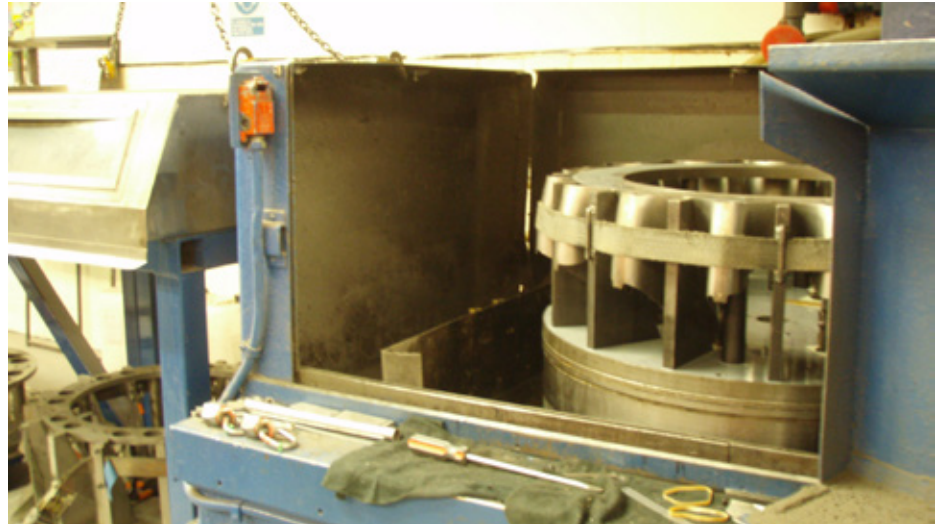
Abbildung 5.2 – Entmagnetisierer mit Räderschleppwagen



5.3.3 Schleifmaschine

Im Inneren der Schleifmaschine (Abbildung 5.3) befindet sich auf einem rotierenden Tisch eine Magnetspannplatte mit einem statischen Feld, auf der die Werkstücke fixiert werden. Der Bediener kann die Magnetspannplatte bei geöffnetem Gehäuse aktivieren.

Abbildung 5.3 – Schleifmaschine



5.3.4 Sonstige Arbeitsmittel in der Werkstatt

Die unten aufgeführten weiteren Geräte des Unternehmens werden von verschiedenen Arbeitnehmern regelmäßig benutzt:

- Blechschneidemaschine,
- Bandsäge,
- maschinenbetriebene Bügelsäge,
- Kappsäge,
- Fräsmaschine (motorbetrieben),
- Standbohrmaschine,
- Heizdraht-Biegemaschine,
- Drehmaschinen,
- Handbohrer,
- Schleifscheibe.

5.4 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen

Da aus den Herstellerangaben hervorging, dass die Maschinen Herzschrittmacher beeinträchtigen könnten, war dem Unternehmen bekannt, dass von dem Magnetpulverprüfgerät und dem Entmagnetisiergerät Gefahren mit Bezug auf elektromagnetische Felder ausgehen konnten. Genauere Erläuterungen über diese Gefahren lagen ihm jedoch nicht vor. Da das Unternehmen für die übrigen Geräte in seinen Gebäuden keine Sicherheitsinformationen mit Bezug auf elektromagnetische Felder finden konnte, konsultierte es das Verzeichnis der Arbeitsmittel in Tabelle 3.2 (Kapitel 3, Band 1) dieses Leitfadens. Auf dieser Grundlage konnte festgestellt werden, dass die elektrischen Handwerkzeuge und die kleineren elektrischen Geräte keine bedenkliche Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern verursachen dürften.

5.5 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung

Aufgrund des Mangels an Informationen über die Gefahren mit Bezug auf elektromagnetische Felder, die mit dem Magnetpulverprüfgerät und dem Entmagnetisiergerät verbunden waren, beauftragte das Unternehmen einen Fachberater mit einer genauen Bewertung. Das Unternehmen legte großen Wert darauf, zu erfahren, ob und in welchem Umfang Gefahren von diesen Maschinen ausgehen könnten.

Der Berater erfasste die zeitvariable magnetische Flussdichte im Umkreis der Geräte mit einem Messinstrument, das mithilfe eines eingebauten elektronischen Filters einen Prozentwert anzeigte, der mit der Methode gewichteter Spitzenwerte mit Gewichtung im Zeitbereich gewonnen wurde und somit direkt mit den Auslöseschwellen verglichen werden konnte. Für die statischen Magnetfelder verwendete der Berater ein dreiachsiges Hall-Magnetometer, das die magnetische Feldstärke maß.

5.6 Ergebnisse der Expositionsbewertung

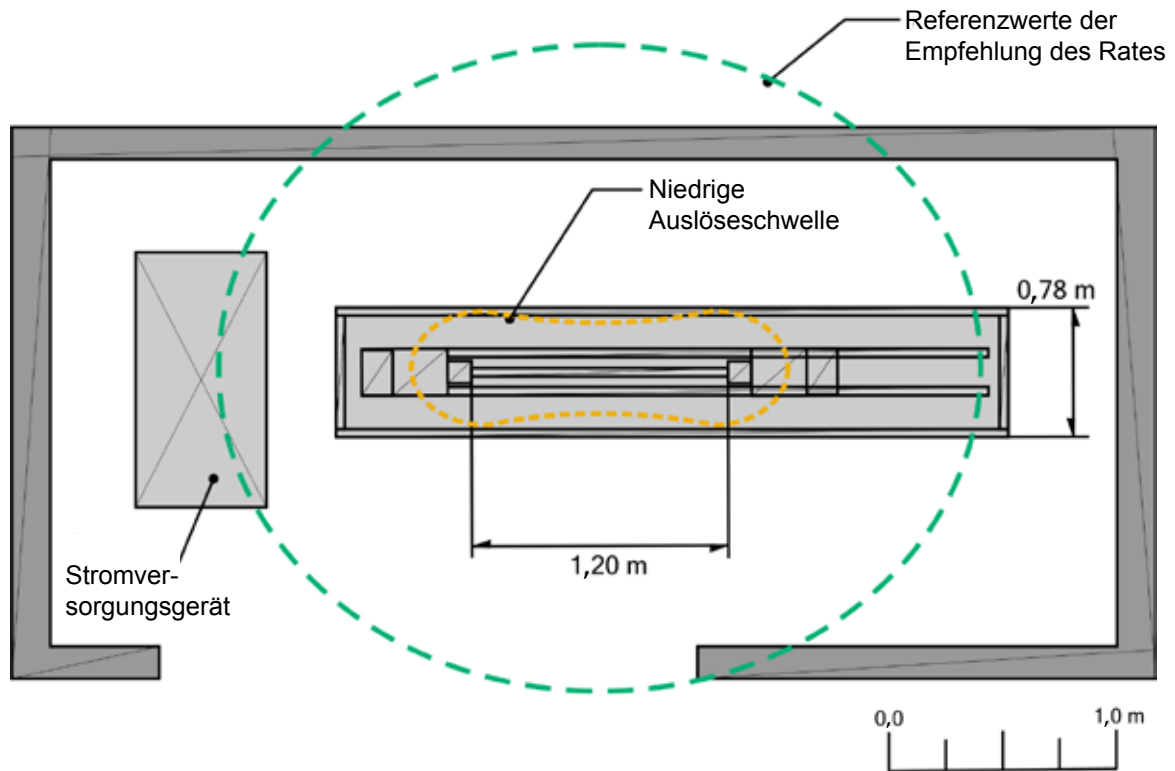
5.6.1 Magnetpulverprüfgerät

Das Magnetpulverprüfgerät wird in der Regel mit Stromstärken von 1 bis 4 kA betrieben. Für die Messungen der magnetischen Flussdichte wurde die maximale Einstellung von 10 kA gewählt. Das Gerät wurde auf radiale Magnetisierung eingestellt, in diesem Modus wird der Strom direkt in das Werkstück übertragen. Der Abstand des Bedieners vom Werkstück wurde während der Inspektion mit 60 cm gemessen, daher wurden die Messungen an dieser Stelle vorgenommen. An dieser Stelle wurde die niedrige Auslöseschwelle nicht überschritten.

Es folgten weitere Messungen an verschiedenen anderen Stellen im Umkreis des Geräts, deren Ergebnisse mit den Auslöseschwellen und mit den in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerten verglichen wurden. Diese Werte können als grobe Indikatoren für die Exposition besonders gefährdeter Arbeitnehmer herangezogen werden (siehe Anhang E von Band 1 dieses Leitfadens).

Abbildung 5.4 zeigt die Bereiche, in denen die Auslöseschwellen und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten werden könnten. Die Kontur für die niedrige Auslöseschwelle verbleibt vollständig innerhalb des Maschinenbetts, während die Kontur für die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte im Abstand von bis zu ca. 1,5 m um das Werkstück verläuft und bis zu 0,4 m in die Bereiche, die an die Kabine für das Magnetpulvergerät angrenzen, hineinreicht.

Abbildung 5.4 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die niedrige Auslöseschwelle (gelb) und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte (grün) überschritten werden könnten



5.6.2 Entmagnetisiergerät

Der beauftragte Berater nahm Messungen der Magnetfelder im Umkreis des Entmagnetisierers vor, deren Ergebnisse in Tabelle 5.1 wiedergegeben sind. Er stellte fest, dass die magnetische Flussdichte 40 cm von der Mitte des Magnetkanals entfernt unter die niedrige Auslöseschwelle sank und auf gleicher Höhe mit dem Magnetrand knapp oberhalb der hohen Auslöseschwelle lag. Die Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG des Rates wurden innerhalb von 1 m Abstand vom Magnetkanal überschritten.

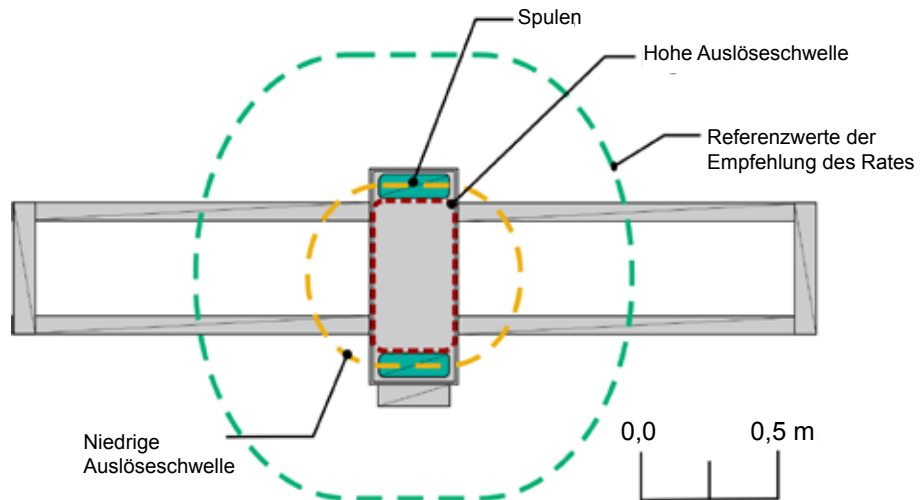
Abbildung 5.5 zeigt, in welchen Bereichen die Auslöseschwellen und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten werden könnten.

Tabelle 5.1 – Im Umkreis des Entmagnetisiergeräts gemessene Flussdichten in Prozent der in der EMF-Richtlinie festgelegten Auslöseschwellen

Messposition	Messgröße		Exposition im Verhältnis zur EMF-Richtlinie			Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen (μT)	Exposition (%)	
	Frequenz (Hz)	Magnetische Flussdichte (μT)	Niedrige Auslöseschwelle (μT)	Exposition (%)	Hohe Auslöseschwelle (μT)			
Schlittenschiene auf der Seite des Bedieners:								
• Rechts vom Steuerpult	50	590	1000	59 %	6000	18 000	10 %	3,3 %
• Schienenkante entlang dem Magneten	50	1400	1000	140 %	6000	18 000	23 %	7,8 %
• In 40 cm Abstand von der Mitte des Magnettunnels	50	600	1000	60 %	6000	18 000	10 %	3,3 %
In 1 m Abstand von der Mitte des Magnettunnels (seitlich des Entmagnetisierers)								
• Offene Seite	50	70	1000	7,0 %	6000	18 000	1,2 %	0,4 %
• Geschlossene Seite	50	70	1000	7,0 %	6000	18 000	1,2 %	0,4 %
Gegenüberliegende Schlittenschiene (gegenüber Steuerpult)								
• In 25 cm Abstand von der Mitte des Magnettunnels	50	3200	1000	320 %	6000	18 000	53 %	18 %
• In 40 cm Abstand von der Mitte des Magnettunnels	50	600	1000	60 %	6000	18 000	10 %	3,3 %
• In 30 cm Abstand vom Magnetgehäuse (Seite des Isolationschalters)	50	250	1000	25 %	6000	18 000	4,2 %	1,4 %
Oberhalb der Schlittenschiene auf der Achse des Magnettunnels								
• Auf gleicher Höhe mit dem Magnetrand (offene Seite)	50	6700	1000	670 %	6000	18 000	110 %	37 %
• Auf gleicher Höhe mit dem Magnetrand (geschlossene Seite)	50	6700	1000	600 %	6000	18 000	100 %	33 %

Hinweis: Das Messinstrument war auf den Modus „Feldstärke“ eingestellt, sodass die Wellenform stets durch die Grundfrequenz von 50 Hz bestimmt wurde. Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 10\%$ dB angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt mit den Auslöseschwellen verglichen.

Abbildung 5.5 – Umkreis des Entmagnetisiergeräts (Draufsicht), in dem die hohe Auslöseschwelle (rot), die niedrige Auslöseschwelle (gelb) und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte (grün) überschritten werden könnten



5.6.3 Schleifmaschine

Die Messungen erfolgten im Umkreis der Schleifmaschine, die eine Magnetspannplatte enthält, mit der die Werkstücke fixiert werden.

Die Messungen im Umkreis des Geräts ergaben, dass die Expositionsgrenzwerte für die Exposition gegenüber statischen Magnetfeldern an keiner Stelle überschritten wurden. Die Auslöseschwelle für aktive implantierte medizinische Geräte hingegen konnte in unmittelbarer Nähe zur Magnetspannplatte womöglich überschritten werden (Tabelle 5.2).

Tabelle 5.2 – Abstand, bei dem die magnetische Flussdichte auf die Auslöseschwelle für die Exposition gegenüber aktiven implantierten medizinischen Geräten (0,5 mT) sinkt

Gerät	Abstand von der Seitenkante des Tisches	Abstand von der Oberkante des Tisches
Lumsden-Schleifmaschine	15 cm	15 cm

Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 5\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden bei der Bewertung der oben gezeigten Abstände gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt mit der Auslöseschwelle verglichen.

5.6.4 Sonstige Arbeitsmittel in der Werkstatt

Messungen der magnetischen Flussdichte im Umkreis der übrigen elektrischen Geräte in der Werkstatt ergaben, dass die Auslöseschwellen in keinem Fall überschritten wurden.

Bei den in Tabelle 5.3 aufgeführten Geräten wurden die Auslöseschwellen oder die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte an keiner Messposition überschritten. Bei den in Tabelle 5.4 aufgeführten Geräten wurden die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte an einigen Stellen in der Nähe der Geräte überschritten.

Tabelle 5.3 – Arbeitsmittel, von denen keine Gefahr mit Bezug auf elektromagnetische Felder ausgeht

Gerät	Prozent der Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG des Rates (%)
Blechschneidemaschine	33 %
Bandsäge	< 1 %
Maschinenbetriebebene Bügelsäge	< 1 %
Fräsmaschine	50 %
Standbohrmaschine	20 %
Heizdraht-Biegemaschine	20 %
Schleifscheibe	20 %
Drehmaschinen	< 2 %

Tabelle 5.4 – Arbeitsmittel, in deren Umkreis die magnetische Flussdichte die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritt

Gerät	Anmerkung
Kappsäge	280 % an der Gerätoberfläche 100 % in 15 cm Abstand vom Motor 20 % am Standort des Bedieners
Schleif-/Poliermaschine	350 % an der Gerätoberfläche 100 % in 10 cm Abstand vom Gerät
Handbohrer	700 % an der Gerätoberfläche 300 % an einer typischen Position des Körpers (7 cm Abstand von der Rückseite des Bohrers) 100 % in 15 cm Abstand von der Rückseite des Bohrers

5.7 Risikobewertung

Auf der Grundlage der Messungen des Beraters führte das Unternehmen für seine Geräte Risikobewertungen mit Bezug auf elektromagnetische Felder durch (Tabellen 5.5 bis 5.9). Er folgte dabei der auf der OIRA (der Plattform der EU-OSHA für die interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung) empfohlenen Vorgehensweise. Die Risikobewertungen führten zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Magnetpulverprüfgerät – Die Auslöseschwellen wurden am üblichen Standort des Bedieners nicht überschritten. Besonders gefährdete Arbeitnehmer könnten in bis zu ca. 1,5 m Abstand vom Werkstück einer Gefahr ausgesetzt sein.
- Entmagnetisiergerät – Wenn sich Arbeitnehmer in der Nähe des Magneten aufhalten, könnte die niedrige Auslöseschwelle überschritten werden. Besonders gefährdete Arbeitnehmer könnten in bis zu ca. 1 m Abstand vom Magneten einer Gefahr ausgesetzt sein.
- Schleifmaschine – Besonders gefährdete Arbeitnehmer könnten in bis zu ca. 15 cm Abstand von der Magnetspannplatte einer Gefahr ausgesetzt sein. Allerdings wurde es als unwahrscheinlich eingeschätzt, dass sich ein Arbeitnehmer dem Magneten so stark nähern würde.
- Handbohrer – Besonders gefährdete Arbeitnehmer könnten bei der Benutzung dieses Arbeitsmittels einer Gefahr ausgesetzt sein.

- Sonstige Arbeitsmittel – Im Umkreis einiger Arbeitsmittel wurden Felder gemessen, bei denen die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten wurden. Da sich diese Felder allerdings auf eng begrenzte Stellen beschränkten, wurde die Gefahr für besonders gefährdete Arbeitnehmer als gering bewertet.

Das Unternehmen erstellte auf der Grundlage der Risikobewertung einen Aktionsplan und dokumentierte diesen.

Tabelle 5.5 – Risikobewertung im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern für das Magnetspulverprüfgerät

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad		Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen	
			Gering	Schwerwiegend Lebensgefährlich			Wahrscheinlichkeit
Direkte Wirkungen des EMF	Der übliche Standort des Bedieners befindet sich in 60 cm Abstand vom Werkstück, hier dürfte die niedrige Auslöseschwelle nicht überschritten werden	Bediener Sonstige Arbeitnehmer Besonders gefährdete Arbeitnehmer (schwangere Arbeitnehmerinnen)	✓		✓	Gering	Unterrichtung und Unterweisung der Bediener und der übrigen Arbeitnehmer Das Gerät wird mit Warnhinweisen versehen Schwangeren Arbeitnehmerinnen wird untersagt, das Gerät zu verwenden oder sich während dessen Verwendung in der Kabine aufzuhalten Anbringung geeigneter Warn- und Verbotshinweise am Kabineneingang
Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten in einem Abstand von bis zu 1,5 m vom Werkstück überschritten werden	Das Gerät wird in einer Kabine verwendet						
Indirekte Auswirkungen des EMF (Auswirkung auf aktive implantierte medizinische Geräte)	Arbeitnehmern mit aktiven implantierten medizinischen Geräten ist die Bedienung des Geräts untersagt	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	✓		✓	Gering	Unterrichtung aller Arbeitnehmer über diese Gefahr Aufnahme von Warnungen in die Sicherheitsinformationen des Unternehmens Anbringung geeigneter Warn- und Verbotshinweise am Kabineneingang
Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten in einem Abstand von bis zu 1,5 m vom Werkstück überschritten werden							

Tabelle 5.6 – Bewertung der Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder für das Entmagnetisiergerät

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad			Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen
			Gering	Schwerwiegend	Lebensgefährlich		
				Unwahrscheinlich	Möglich	Wahrscheinlich	
<p>Direkte Wirkungen des EMF</p> <p>Im Abstand von bis zu 40 cm vom Magneten könnte die niedrige Auslöseschwelle überschritten werden</p> <p>Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten in einem Abstand von bis zu 1 m vom Magneten überschritten werden</p>	Keine	Bediener	✓		✓		<p>Gering</p> <p>Sofern die Verwendung des Geräts dadurch nicht beeinträchtigt wird, Anbringung von Schutzeinrichtungen, damit die niedrige Auslöseschwelle bei Arbeitnehmern nicht überschritten wird, und Automatisierung sich wiederholender Entmagnetisierungsvorgänge</p> <p>Unterrichtung und Unterweisung der Bediener und der übrigen Arbeitnehmer</p> <p>Anbringung von Warnhinweisen</p> <p>Markierung des Bereichs, in dem die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten werden</p> <p>Zutrittsverbot zum markierten Bereich für schwangere Arbeitnehmerinnen</p> <p>Anbringung geeigneter Warn- und Verbotshinweise am Rand des markierten Bereichs</p>
<p>Indirekte Auswirkungen des EMF (Auswirkung auf aktive implantierte medizinische Geräte)</p> <p>Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten in einem Abstand von bis zu 1 m vom Magneten überschritten werden</p>	Arbeitnehmern mit aktiven implantierten medizinischen Geräten ist die Bedienung des Geräts untersagt	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	✓	✓			<p>Gering</p> <p>Unterrichtung aller Arbeitnehmer über diese Gefahr</p> <p>Aufnahme von Warnungen in die Sicherheitsinformationen des Unternehmens</p> <p>Anbringung geeigneter Warn- und Verbotshinweise am Rand des markierten Bereichs</p>

Tabelle 5.9 – Bewertung der Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder für sonstige elektrische Arbeitsmittel

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad			Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen		
			Gering	Schwerwiegend	Lebensgefährlich			Wahrscheinlichkeit	
					Unwahrscheinlich	Möglich	Wahrscheinlich		
Direkte Wirkungen des EMF	Keine	Bediener	✓		✓			Gering. Es ist höchst unwahrscheinlich, dass sich ein Arbeitnehmer dem Gerät so stark nähert	Nicht erforderlich
Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten in unmittelbarer Nähe der Geräte überschritten werden		Besonders gefährdete Arbeitnehmer (schwangerer Arbeitnehmerinnen)							
Indirekte Auswirkungen des EMF (Auswirkung auf aktive implantierte medizinische Geräte)	Keine	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	✓		✓			Gering. Es ist höchst unwahrscheinlich, dass sich ein Arbeitnehmer dem Gerät so stark nähert	Nicht erforderlich
Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten in unmittelbarer Nähe der Geräte überschritten werden									

5.8 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen

Vor der Bewertung der Messungen durch den Berater bestanden sehr wenige Schutzmaßnahmen. Sie beschränkten sich auf Folgendes:

- Arbeitnehmern mit aktiven implantierten medizinischen Geräten war die Verwendung des Magnetpulverprüfgeräts und des Entmagnetisiergeräts untersagt.

5.9 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse

Auf der Grundlage der Bewertung der Messungen und nach einer Einschätzung der mit den Geräten einhergehenden Gefahren erstellte das Unternehmen einen Aktionsplan und beschloss folgende Maßnahmen:

- Anbringung von vier verhältnismäßig kleinen nichtmetallischen Abschirmungen (aus Perspex) an beiden Seiten des Magnettunnels des Entmagnetisiergeräts. Diese sollten, um kein erhebliches Hindernis zu bilden, nach innen gebogen sein, jedoch an allen Stellen etwa 40 cm Abstand zur Öffnung des Magnettunnels haben.

- Automatisierung sich wiederholender Entmagnetisierungsvorgänge durch Robotersysteme und Förderbänder (Abbildung 5.6). Dies hat den zusätzlichen Vorteil, dass die manuelle Handhabung von Lasten der Richtlinie 90/269/EWG des Rates entspricht.
- Je nach Bedarf Anbringung von Warn- und Verbotshinweisen am Gerät und am Zugang zu Bereichen, in denen die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten werden könnten. Muster für Warnhinweise werden zur Verfügung gestellt (Abbildung 5.7).
- Sensibilisierung der Bediener und Sicherstellung, dass sie mit den Ergebnissen der Risikobewertung vertraut sind und die geforderten Schutz- und Präventionsmaßnahmen kennen.
- Entwicklung geeigneter Verfahren, um zu gewährleisten, dass alle Arbeitnehmer, einschließlich Besucher und Vertragsnehmer, die potenziellen Gefahren für besonders gefährdete Arbeitnehmer kennen (siehe Anhang E von Band 1 dieses Leitfadens).

Abbildung 5.6 – Automatisiertes Entmagnetisiergerät mit Förderband in einer Roboterkabine

Roboter

Entmagnetisiergerät

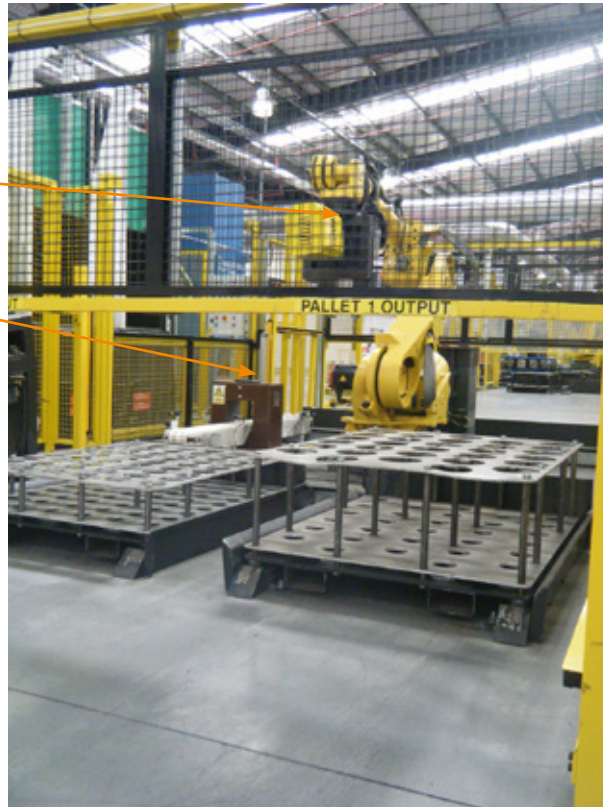


Abbildung 5.7 – Muster für Warn- und Verbotshinweise



5.10 Weiterführende Informationsquellen

Computerbasierte Modellrechnungen auf der Grundlage der Messergebnisse im Umkreis des Entmagnetisiergeräts ergaben, dass die induzierten elektrischen Felder den Expositionsgrenzwerten entsprachen, obwohl die Auslöseschwellen überschritten wurden. In den drei unten aufgeführten Expositionssituationen lag das induzierte elektrische Feld im Bereich von 5 % bis 54 % des niedrigen Expositionsgrenzwerts.

- Arbeitnehmer stehend in Position 1, 25 cm Abstand vom Magnettunnel (Abbildung 5.8a)
- Arbeitnehmer kniend in Position 1, 25 cm Abstand vom Magnettunnel (Abbildung 5.8b)
- Arbeitnehmer vornübergebeugt in Position 2, auf gleicher Höhe mit dem Magnettunnel (Abbildung 5.8b)

Abbildung 5.8a – Verteilung des durch Exposition gegenüber dem Entmagnetisiergerät induzierten elektrischen Felds im Menschmodell in stehender Position 1 in 25 cm Abstand vom Magnettunnel

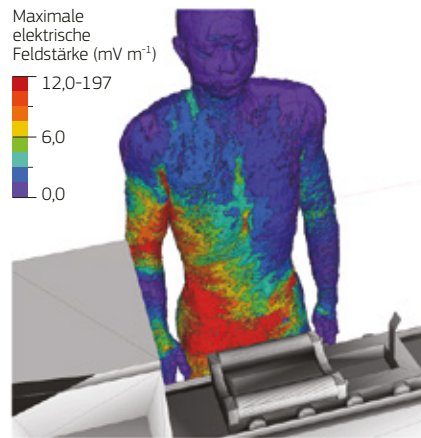


Abbildung 5.8b – Verteilung des durch Exposition gegenüber dem Entmagnetisiergerät induzierten elektrischen Felds im Menschmodell in kniender Position 1 in 25 cm Abstand vom Magnettunnel

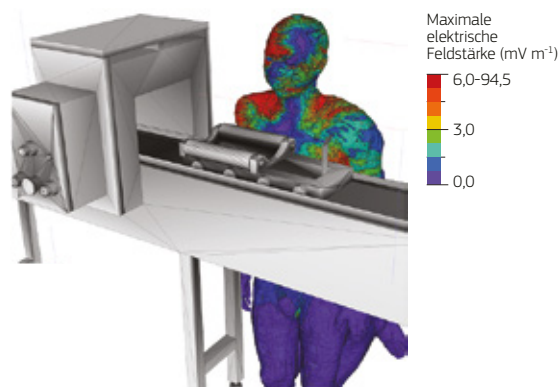
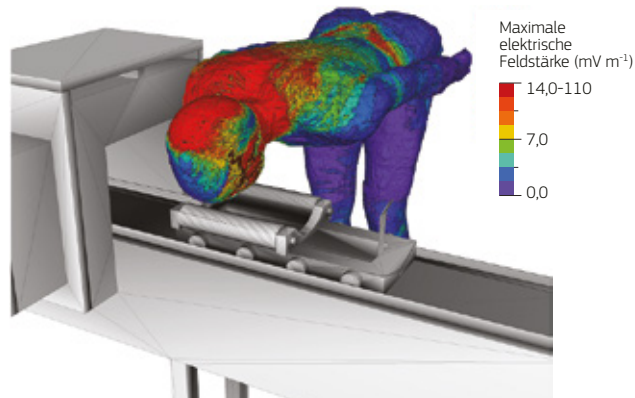


Abbildung 5.8c – Verteilung des durch Exposition gegenüber dem Entmagnetisiergerät induzierten elektrischen Felds im Menschmodell in vornübergebeugter Position 2 in Höhe des Magnettunnels



6 AUTOMOBILINDUSTRIE

6.1 Arbeitsstätte

In dieser Fallstudie geht es um Handpunktschweißgeräte und Induktionserwärmer, die in einer Reparaturwerkstatt für Karosserien verwendet werden. Dabei wird in Abschnitt 6.11 in knapper Form auch die Verwendung von Punktschweißgeräten bei einem führenden internationalen Fahrzeughersteller behandelt, obwohl es sich dabei nicht um ein kleines oder mittleres Unternehmen handelt.

6.2 Art der Arbeit

Handpunktschweißgeräte (Abbildung 6.1) und Induktionserwärmer (Abbildung 6.3) können eine Gefahr darstellen, weil sie zum Schweißen oder Erhitzen von Metall große elektrische Ströme verwenden, die starke zeitvariable Magnetfelder erzeugen. Gegenstand dieser Fallstudie sind zwei Punktschweißgeräte und drei Induktionserwärmungssysteme, die in Karosseriewerkstätten gebräuchlich sind.

Abbildung 6.1 – Verwendung eines Handpunktschweißgeräts zur Befestigung einer neuen Blechtafel



6.3 Verwendung der Geräte

Bei der Fahrzeugherstellung werden heutzutage in der Regel einzelne Bleche zu einem Karosserierahmen zusammengeschweißt, an dem anschließend die wesentlichen Bauteile angebracht werden. In den meisten Fällen werden dabei Punktschweißgeräte verwendet. Handpunktschweißgeräte bestehen aus einer Schweißzange in Verbindung

mit einer Steuerungseinheit, in der Elektro- und Kühlsysteme untergebracht sind. In der Schweißzange befinden sich zwei geformte Elektroden aus einer Kupferlegierung, mit denen der Schweißpunkt erzeugt wird. Die Größe der Elektroden kann je nach Lage des Schweißpunkts auf der Karosserie geändert werden. Abbildung 6.2 zeigt als Beispiel eines der Schweißgeräte, die in der Karosseriewerkstatt verwendet werden.

Abbildung 6.2 – In Karosseriewerkstätten gebräuchliches Handpunktschweißgerät. Das System ist beweglich, da die Steuerungseinheit auf einem rollbaren Untersatz steht. Die Versorgungskabel für Strom und Kühlmittel führen von der Vorderseite der Steuerungseinheit zum hinteren Ende der Schweißzange, die links vom Steuerpult in einer Halterung sitzt.



Bei der Wartung oder Reparatur von Fahrzeugen kommt es häufig vor, dass Arbeitnehmer Metallteile erhitzen müssen, um sie, in der Regel wegen Korrosion, zu entfernen. Induktionserwärmer bestehen aus einer elektromagnetischen Spule, die von niederfrequentem Wechselstrom durchflossen wird. Das um die Spule entstehende Magnetfeld induziert im Werkstück einen elektrischen Strom, Wirbelstrom genannt, und aufgrund des Widerstands dagegen erwärmt sich das Werkstück. Abbildung 6.3 zeigt als Beispiel einen der verwendeten Induktionserwärmer.

Abbildung 6.3 – Erhitzung eines fixierten Bolzens mit einem tragbaren Induktionserwärmer (Leistung: 1 kW)



6.4 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen

Das eine Schweißgerät, das in der Reparaturwerkstatt verwendet wurde, verfügte über eine C-Zange, die mit Armen der Länge 160 mm oder 550 mm bestückt werden konnte, und das andere verfügte über eine X-Zange für Elektroden mit einer Länge von 160 mm oder 550 mm. Die Abbildungen 6.4 und 6.5 zeigen die beiden verschiedenen Zangentypen. Beide Schweißgeräte wurden mit einem Schweißstrom der Stärke 7500-12 000 A und einer Frequenz von 2 kHz betrieben. Die C-Zange wurde über einen externen Transformator mit Schweißstrom versorgt, in die X-Zange war dagegen ein Miniaturtransformator eingebaut. Durch das Kabel zwischen Steuerungseinheit und Schweißzange floss daher bei Letzterem der Netzstrom mit einer Frequenz von 50/60 Hz und nicht der weitaus größere Schweißstrom. Die Bedeutung dieses Umstands wird unten in dieser Fallstudie erörtert.

Abbildung 6.4 – Die C-Schweißzange der Karosseriereparaturwerkstatt mit befestigtem 160-mm-Arm. Der Zylinder der Schweißzange (unterhalb der Hand des Arbeitnehmers) enthält den Kolben, mit dem die Elektroden gegeneinander gepresst werden. Über die Kabel links im Bild wird das Gerät von der Steuerungseinheit mit Schweißstrom versorgt.

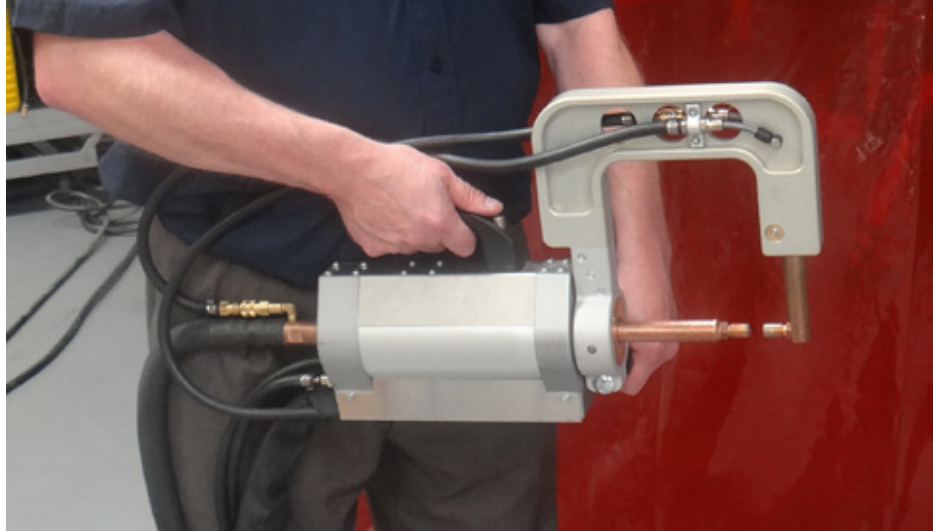


Abbildung 6.5 – Die X-Schweißzange der Karosseriereparaturwerkstatt mit befestigten 550-mm-Elektroden. Die beiden Elektroden werden durch einen Kolben im Zylinder der Zange (zwischen den Händen des Arbeitnehmers) gegeneinander gepresst, außerdem enthält der Zylinder den Transformator, der den Schweißstrom liefert.



Die drei Induktionserwärmer, die in der Werkstatt verwendet wurden, hatten unterschiedliche Leistungen: 1 kW, 4 kW und 10 kW. Das Gerät mit der Leistung von 1 kW wurde mit 15 kHz, und die Geräte mit 4 kW bzw. 10 kW Leistung wurden mit Frequenzen von 17-40 kHz betrieben. Die Induktionserwärmer mit 4 kW und 10 kW Leistung konnten mit unterschiedlichen Frequenzen betrieben werden, weil sie vermittels einer automatischen Stromfrequenzanpassung die jeweils maximale Kopplung mit dem zu erheizenden Werkstück herstellen.

Der Induktionserwärmer mit 1 kW Leistung bestand aus einem einzigen Handgerät, in dem Transformator und Heizelement vereint waren, und besaß kein aktives Kühlsystem (Abbildung 6.3). Die Induktionserwärmer mit 4 kW bzw. 10 kW Leistung bestanden aus einem separaten Netzteil und einem in der Hand zu haltenden Heizelement; sie waren mit aktiven Kühlsystemen ausgestattet (Abbildung 6.6).

Abbildung 6.6 – Die Induktionserwärmer mit einer Leistung von 4 kW (links) und 10 kW (rechts), die in der Reparaturwerkstatt zur Erhitzung von Metallbauteilen verwendet werden. Der Transformator ist hierbei in einem separaten Netzteil (jeweils links im Bild) untergebracht, von dem aus das (vom Arbeitnehmer in beiden Fällen in der Hand gehaltene) Heizelement über Kabel mit Strom und Kühlmittel versorgt wird. Darin unterscheiden sich diese Geräte von dem in Abbildung 6.3 gezeigten Induktionserwärmer mit 1 kW Leistung, der weitaus einfacher gebaut ist.



6.5 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung

Ein Vertretungsorgan der Automobilindustrie machte sich Gedanken um die Bedeutung der EMF-Richtlinie für seine Mitglieder, bei denen es sich zum Teil um Lieferanten elektrischer Schweiß- und Erwärmungsgeräte handelt. Man befürchtete, dass die Arbeitnehmer durch die in Reparaturwerkstätten üblichen Punktschweißgeräte und Induktionserwärmer Expositionen ausgesetzt werden könnten, die über die einschlägigen Auslöseschwellen nach Artikel 3

Absatz 2 der EMF-Richtlinie hinausgingen. Denn sowohl Punktschweißgeräte als auch Induktionserwärmer werden mit hohen Stromstärken betrieben und von den Arbeitnehmern oft nah am Körper gehalten, wie in den Abbildungen 6.1, 6.4, 6.5 und 6.6 gezeigt.

Daher beauftragte das Vertretungsorgan einen Sachverständigen, der an einem europäischen Projekt beteiligt war, einen Leitfaden zur berufsbedingten Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern zu erstellen. Und so wurde vereinbart, dass der Sachverständige verschiedene Geräte bewerten sollte, die in einem Ausbildungszentrum der Automobilindustrie zum Einsatz kamen.

Mithilfe einer isotropen (dreiachsigen) Sonde nahm der Beauftragte im Umkreis der oben beschriebenen Schweiß- und Erwärmungsgeräte Messungen der zeitvariablen magnetischen Flussdichte vor (Abbildung 6.7). Mithilfe eines eingebauten elektronischen Filters gab das Instrument das Messergebnis als Prozentwert aus, der mit der Methode gewichteter Spitzenwerte mit Gewichtung im Zeitbereich gewonnen wurde und somit direkt mit den in der EMF-Richtlinie festgelegten Auslöseschwellen verglichen werden konnte. Außerdem verfügte das Messinstrument über einen eingebauten Spektralanalysator, mit dem die Oberschwingungen erkannt werden konnten.

Abbildung 6.7 – Messungen im Umkreis des mit einer C-Zange versehenen Punktschweißgeräts der Reparaturwerkstatt bei befestigtem 160-mm-Arm. Das Schweißgerät mit der X-Zange ist im Hintergrund zu sehen.



6.6 Ergebnisse der Expositionsbewertung

Die Messergebnisse des beauftragten Sachverständigen werden unten in Abbildungen und einer Tabelle gezeigt. Alle Messungen erfolgten, während das Schweißgerät oder der Induktionserwärmer so verwendet wurden, wie es bei Arbeitstätigkeiten in einer Reparaturwerkstatt üblich ist. Durch die Messungen sollte festgestellt werden, in welchem Umkreis um die jeweilige Schweißzange oder den jeweiligen Induktionserwärmer Folgendes zutrifft:

- Die in der EMF-Richtlinie festgelegten Auslöseschwellen wurden überschritten.
- Für besonders gefährdete Arbeitnehmer könnte ein Sicherheitsrisiko bestehen. Für diese Bewertung wurden die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte herangezogen (siehe Anhang E von Band 1 des Leitfadens).

Die Punktschweißgeräte und Induktionserwärmer wurden mit Frequenzen von 2 kHz bis 36 kHz betrieben. Für diesen Frequenzbereich sind in der EMF-Richtlinie identische Werte für hohe und niedrige Auslöseschwellen vorgesehen. Wenn daher die gemessene magnetische Feldstärke in Prozent der Auslöseschwelle angegeben ist, so bezieht sich dies auf die hohe und die niedrige Auslöseschwelle gleichermaßen. Gegebenenfalls werden die Messergebnisse auch in Prozent der Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen gemäß der EMF-Richtlinie angegeben.

6.6.1 Ergebnisse der Expositionsbewertung für die Punktschweißgeräte der Reparaturwerkstatt

Die Abbildungen 6.8 bis 6.11 zeigen, in welchem Umkreis der Schweißzangen die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen und/oder die hohe und niedrige Auslöseschwelle der EMF-Richtlinie überschritten werden. Außerdem geht aus Abbildung 6.11 hervor, in welchem Umkreis der mit 550-mm-Elektroden bestückten X-Zange die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten werden. Auf allen Abbildungen verlaufen die Konturen um die Schweißzangen bei 100 % des jeweils relevanten Grenzwerts, wobei die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen in Blau, die hohe und niedrige Auslöseschwelle in Rot und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte in Grün wiedergegeben sind. Darüber hinaus geht aus Tabelle 6.1 hervor, in welchem Umkreis um die C-Schweißzange die geltenden Auslöseschwellen überschritten werden.

Abbildung 6.8 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen (blau) und die hohe/niedrige Auslöseschwelle (rot) im Umkreis der mit einem 160-mm-Arm ausgestatteten C-Schweißzange der Reparaturwerkstatt überschritten werden könnten

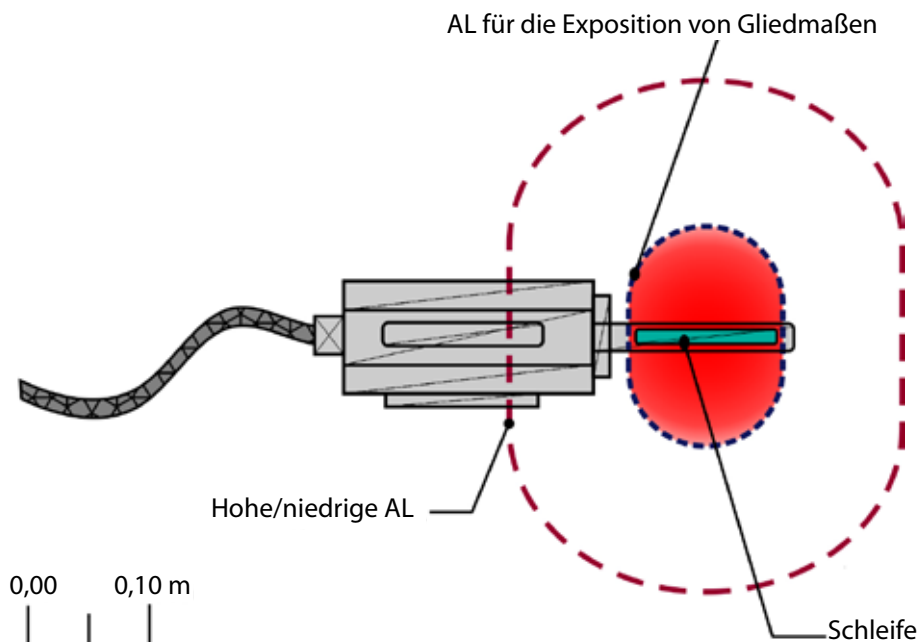


Abbildung 6.9 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen (blau) und die hohe/niedrige Auslöseschwelle (rot) im Umkreis der mit einem 550-mm-Arm ausgestatteten C-Schweißzange der Reparaturwerkstatt überschritten werden könnten

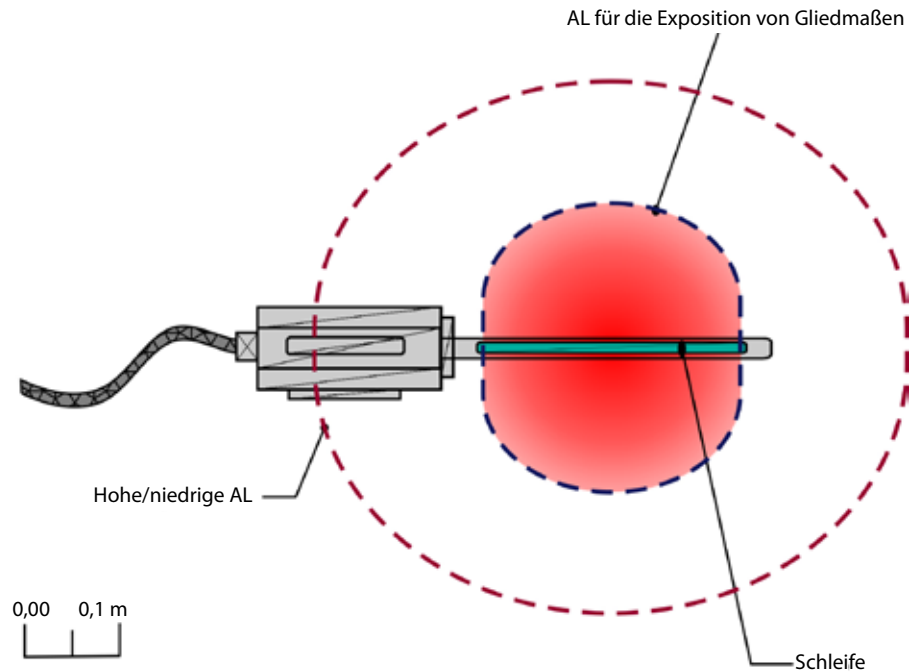


Abbildung 6.10 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die hohe/niedrige Auslöseschwelle (rot) im Umkreis der mit 160-mm-Elektroden ausgestatteten X-Schweißzange der Reparaturwerkstatt überschritten werden könnte

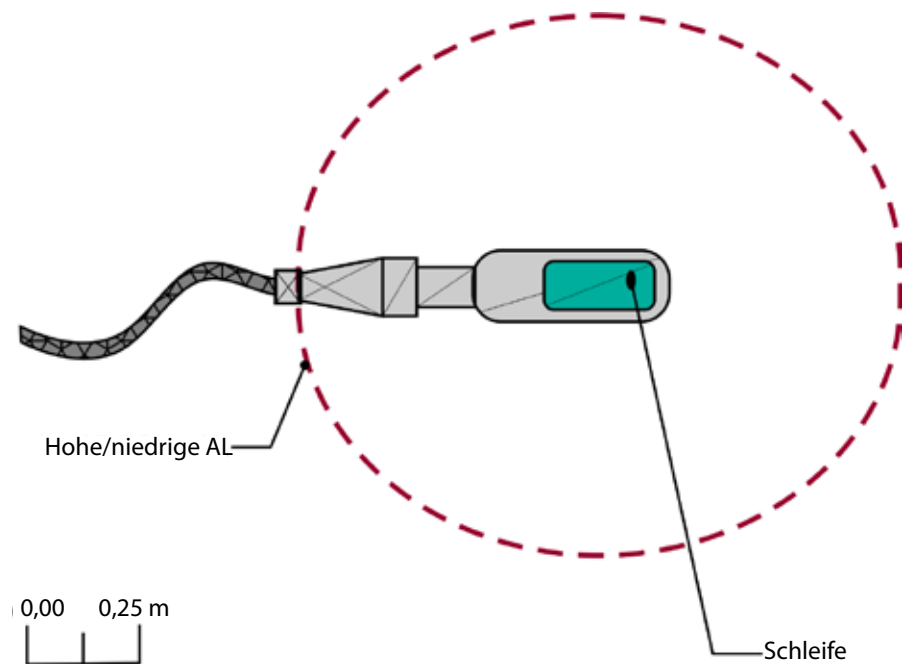


Abbildung 6.11 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen (blau), die hohe/niedrige Auslöseschwelle (rot) und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte (grün) im Umkreis der mit 550-mm-Elektroden ausgestatteten X-Schweißzange der Reparaturwerkstatt überschritten werden könnten

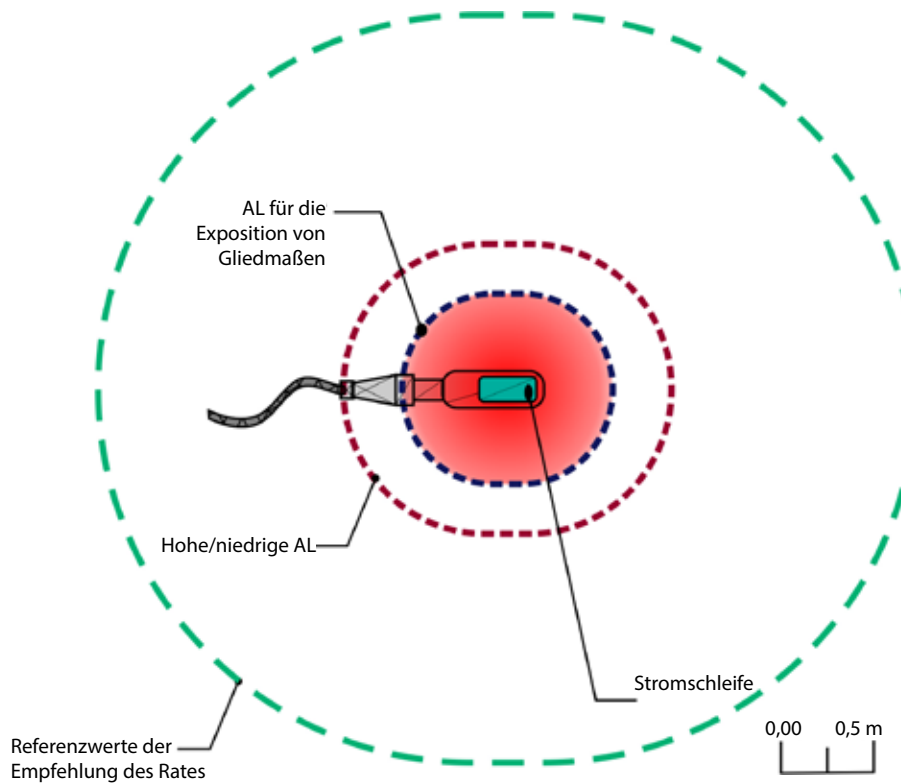


Tabelle 6.1 – Messergebnisse am Verbindungskabel zwischen C-Schweißzange und Steuerungseinheit

Zangentyp	Stromstärke (A)	% der hohen/niedrigen Auslöseschwelle ⁽¹⁾ in 10 cm Abstand vom Kabel	% der hohen/niedrigen Auslöseschwelle ⁽¹⁾ in 12 cm Abstand vom Kabel	% der Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen ⁽²⁾ in 8 cm Abstand vom Kabel
160 mm C-Zange	8000	180	100	100

⁽¹⁾ Hohe und niedrige Auslöseschwelle für magnetische Flussdichte bei einer Frequenz von 2 kHz: 150 μ T.

⁽²⁾ Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen für magnetische Flussdichte bei einer Frequenz von 2 kHz: 450 μ T.

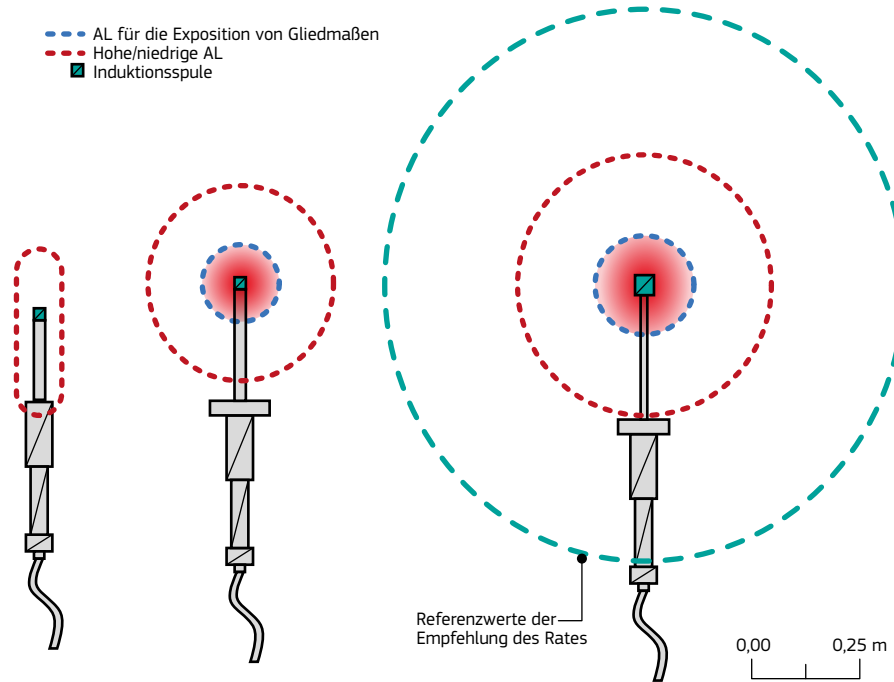
Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 10\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Auslöseschwellen angegeben.

6.6.2 Ergebnisse der Expositionsbewertung für die Induktionserwärmer der Karosseriereparaturwerkstatt

Abbildung 6.12 zeigt die Heizelemente der drei Induktionserwärmer, links für das 1-kW-Gerät, in der Mitte für das 4-kW-Gerät und rechts für das 10-kW-Gerät. Auf allen Abbildungen verlaufen die Konturen um die Heizelemente bei 100 % des jeweils relevanten Grenzwerts, wobei die in der EMF-Richtlinie genannte Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen

in Blau, die ebendort genannte hohe und niedrige Auslöseschwelle in Rot und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte in Grün wiedergegeben sind.

Abbildung 6.12 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen (blau), die hohe/niedrige Auslöseschwelle (rot) und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte (grün) im Umkreis der drei Induktionserwärmer (links: 1 kW, Mitte: 4 kW, rechts: 10 kW) der Reparaturwerkstatt überschritten werden könnten



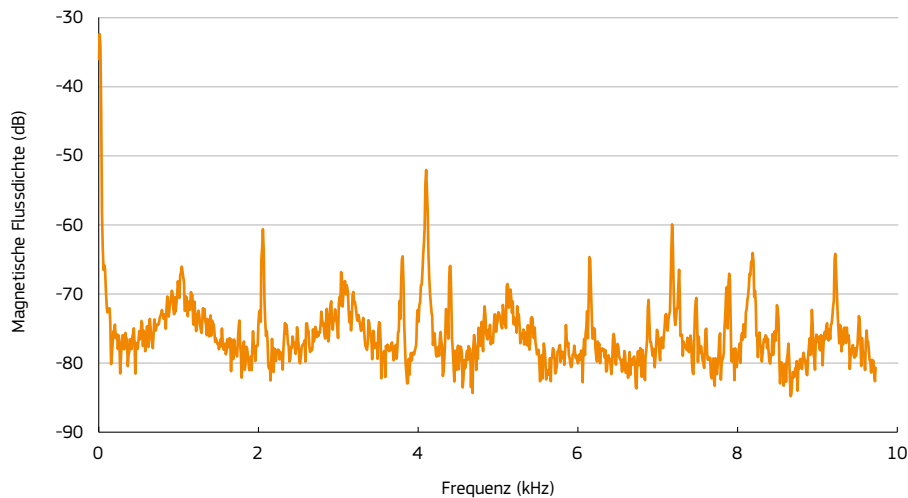
6.7 Schlussfolgerungen aus den Expositionsbewertungen

Je nach Schweißzangentyp wurden die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen der EMF-Richtlinie im Abstand von 10-22 cm und die hohe und niedrige Auslöseschwelle der EMF-Richtlinie im Abstand von 20-32 cm von der Zange überschritten. Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte wurden dort, wo sie gemessen wurden, im Abstand von bis zu einigen Metern von der Zange überschritten.

Wie der beauftragte Sachverständige feststellte, erzeugten die Versorgungskabel für die C-Zange in ihrem Umkreis magnetische Felder oberhalb der Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen sowie der hohen und niedrigen Auslöseschwelle, während dies bei den Kabeln der X-Zange nicht der Fall war. Bei der C-Zange wurden die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen in bis zu 8 cm Abstand von den Kabeln und die hohe und niedrige Auslöseschwelle in bis zu 12 cm Abstand von den Kabeln überschritten. Der Sachverständige führte dies darauf zurück, dass im Falle der C-Zangen die Kabel den Schweißstrom von der Steuerungseinheit zur Zange leiten, während die X-Zange, die über einen eingebauten Transformator verfügt, über das Kabel lediglich mit Netzstrom der Frequenz 50/60 Hz versorgt wird.

Der Sachverständige bestätigte, dass die Grundfrequenz des Schweißstroms für die Punktschweißgeräte der Reparaturwerkstatt bei 2 kHz lag, wenn auch mehrere Oberschwingungen erheblich zu der Gesamtexposition beitrugen. Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 6.13 die Spektralverteilung der Wellenform, die das Schweißgerät der Reparaturwerkstatt bei befestigter C-Zange (160 mm) erzeugt.

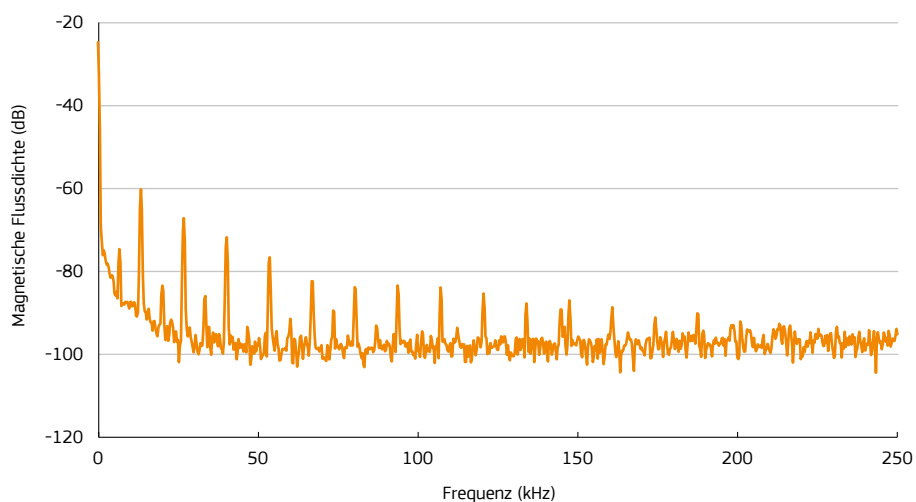
Abbildung 6.13 – Spektralverteilung der durch die C-Zange (160 mm) erzeugten Wellenform



Bei den Induktionserwärmern wurde je nach Geräteleistung die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen überschritten, wenn sich das Heizelement in einem Abstand von 7 cm bis 11 cm vom Arbeitnehmer befand, und die hohe und niedrige Auslöseschwelle wurde, von der Mitte des Heizelements aus gemessen, in alle Richtungen im Abstand von 13 cm bis 18 cm überschritten.

Die Induktionserwärmer wiesen unterschiedliche Grundfrequenzen auf. Das 1-kW-Gerät wurde mit einer Grundfrequenz von 15 kHz und das 4-kW- sowie das 10-kW-Gerät mit einer Frequenz von 36 kHz betrieben. Wie bei den Schweißgeräten trugen mehrere Oberschwingungen in allen Fällen erheblich zur Gesamtexposition bei. Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 6.14 die Spektralverteilung der Wellenform, die durch den Induktionserwärmer mit einer Leistung von 1 kW erzeugt wurde.

Abbildung 6.14 – Spektralverteilung der Wellenform, die durch den Induktionserwärmer mit einer Leistung von 1 kW erzeugt wurde



6.8 Risikobewertung

Aus den Messergebnissen zog der beauftragte Sachverständige den Schluss, dass die Arbeitnehmer, da sie die Punktschweißzangen nahe am Körper in der Hand hielten, elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sein dürften, deren Stärke über die in der EMF-Richtlinie niedergelegten Auslöseschwellen und möglicherweise auch über die geltenden Expositionsgrenzwerte hinausging. Die Messungen im Umkreis der Versorgungskabel der C-Schweißzange ließen darauf schließen, dass auch diese Kabel Expositionen oberhalb der einschlägigen Auslöseschwellen verursachen könnten.

Außerdem stellte der beauftragte Sachverständige fest, dass die Magnetfelder die Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG des Rates im Abstand von bis zu einigen Metern von den Schweißzangen überschritten. Die Referenzwerte können als grobe Indikatoren für Arbeitnehmer, die durch indirekte Auswirkungen der Exposition besonders gefährdet sind, herangezogen werden (siehe Anhang E von Band 1 dieses Leitfadens).

Im Hinblick auf die Induktionserwärmer gelangte der beauftragte Sachverständige zu dem Schluss, dass bei den Arbeitnehmern, die sie verwendeten, keine Exposition gegenüber Feldern über die Auslöseschwellen hinaus zu erwarten war, da die Heizelemente beim Erwärmen in ausreichender Entfernung von Händen und Körper gehalten wurden. Dennoch waren die Magnetfelder so stark, dass die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte bei dem Gerät mit einer Leistung von 10 kW im Abstand von bis zu 0,5 m überschritten wurden. Aus diesem Grund empfahl der Sachverständige, auf Personen zu achten, die durch die indirekten Auswirkungen der Exposition gegenüber den durch die Induktionserwärmer erzeugten Magnetfeldern besonders gefährdet waren (siehe Anhang E von Band 1 des Leitfadens).

In Anbetracht dieser Schlussfolgerungen erstellte der Sachverständige anhand der Methodik, die auf der OiRA (der Plattform der EU-OSHA für die interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung) empfohlen wurde, eine Bewertung der Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder bei der Verwendung von Punktschweißgeräten und Induktionserwärmern. Auf diese Weise sollte ermittelt werden, durch welche Maßnahmen Arbeitnehmer vor der Exposition gegenüber Magnetfeldern oberhalb der Auslöseschwellen geschützt werden könnten. Tabelle 6.2 zeigt die Risikobewertung mit Bezug auf elektromagnetische Felder.

6.9 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen

Keine.

Tabelle 6.2 – Risikobewertung mit Bezug auf elektromagnetische Felder für die Verwendung von in der Hand gehaltenen Punktschweißgeräten und Induktionserwärmern der Reparaturwerkstatt

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad			Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen	
			Gering	Schwerwiegend	Lebensgefährlich			Wahrscheinlichkeit
				Unwahrscheinlich	Möglich	Wahrscheinlich		
Direkte Wirkungen niederer Frequenzen	Keine. Hände und Körper befinden sich oft in der Nähe der Schweißzange, um während des Schweißens deren Gewicht halten zu können	Arbeitnehmer in der Werkstatt	✓		✓		Gering	Änderung der Arbeitsweise beim Schweißen – Verwendung von Aufhängungen, die das Gewicht des Geräts tragen, damit die Arbeitnehmer ihre Hände und ihren Körper von den Schweißelektroden fernhalten können
	Heizelemente der Induktionserwärmer werden normalerweise im Abstand einer Armlänge gehalten		✓		✓		Gering	Standardverfahrensweisen beim Schweißen Warnzeichen auf Schweißgeräten und Induktionserwärmern Unterweisung der Arbeitnehmer, die die Geräte bedienen, über Gefahren mit Bezug auf elektromagnetische Felder
		Schwangere Arbeitnehmerinnen	✓		✓		Gering	Keine Verwendung von Schweißgeräten/Induktionserwärmern neben oder in der Nähe von schwangeren Arbeitnehmerinnen
Indirekte Auswirkungen niederer Frequenzen (Störung aktiver implantierter medizinischer Geräte)	Keine	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	✓		✓		Gering	Keine Verwendung von Schweißgeräten/Induktionserwärmern neben oder in der Nähe von Arbeitnehmern mit aktiven implantierten medizinischen Geräten Unterweisung der Arbeitnehmer über Gefahren mit Bezug auf elektromagnetische Felder

6.10 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse

Auf der Grundlage der Risikobewertung beschloss der Werkstattleiter die Einführung folgender Schutzmaßnahmen:

- Wo immer möglich Einführung von Vorkehrungen, mit denen gewährleistet wird, dass die Arbeitnehmer Hände und Körper in größerem Abstand von der Punktschweißzange und, wenn nötig, auch von anderen Stromleitern und Versorgungskabeln entfernt halten. Beispielsweise beschaffte der Werkstattleiter Träger, an denen die Punktschweißgeräte aufgehängt werden konnten. Auf diese Weise mussten die Arbeitnehmer das Gewicht der Geräte nicht mehr selbst tragen, konnten immer hinter der Zange stehen und diese lediglich hinten am Griff in der richtigen Stellung halten.

- Anbringung von Warn- und Verbotsschildern auf den Schweißgeräten und Induktionserwärmern, mit denen auf starke Magnetfelder hingewiesen wird und die Verwendung der Geräte in Gegenwart von Trägern aktiver implantierter medizinischer Geräte oder von besonders gefährdeten Arbeitnehmern, beispielsweise schwangeren Arbeitnehmerinnen, untersagt wird. Abbildung 6.15 zeigt Beispiele für die Warnhinweise auf den Schweißgeräten der Reparaturwerkstatt.

Abbildung 6.15 – Beispiele für Warnhinweise wegen starker Magnetfelder und ein Verbotsschild für die Verwendung des Schweißgeräts durch Träger implantierter medizinischer Geräte oder in deren Gegenwart



- Unterrichtung der Arbeitnehmer, einschließlich Unterrichtung über die Ergebnisse der Risikobewertung.
- Unterweisung der Arbeitnehmer über Verfahrensweisen, mit denen sie ihre Exposition unterhalb der in der EMF-Richtlinie genannten Auslöseschwellen halten können.
- Geeignete Einführungsprogramme, mit denen gewährleistet wird, dass auch andere Arbeitnehmer die Gefahren kennen, die von den Magnetfeldern der Schweiß- und Erwärmungsgeräte ausgehen.
- Regelmäßige Überprüfung der Risikobewertung.

6.11 Punktschweißgeräte in der Fahrzeugherstellung

Internationale Fahrzeughersteller sind zwar nicht den kleinen oder mittleren Unternehmen zuzurechnen, doch das Punktschweißen spielt in dieser Branche eine derart große Rolle, dass es die Autoren für geboten hielten, an dieser Stelle auch die Bewertung ausgewählter Punktschweißgeräte bei einem führenden Hersteller durch den beauftragten Sachverständigen zu behandeln.

6.11.1 Bewertung von Punktschweißgeräten in Fabriken

Bewertet wurden drei Punktschweißgeräte: eine C-Zange mit einem 400-mm-Arm; eine X-Zange mit 130 mm langen Elektroden und eine X-Zange mit 700 mm langen Elektroden. Die beiden kleineren Geräte wurden mit 8400 A, das größte mit 10 200 A betrieben. Die Betriebsfrequenz lag bei allen drei Schweißgeräten bei 50 Hz, und sie wurden über Kabel, deren Bauweise die Exposition gegenüber Magnetfeldern verringern sollte, von externen Transformatoren aus mit Strom versorgt. Die Abbildungen 6.16 und 6.17 zeigen die C-Schweißzange mit 400-mm-Arm und die X-Schweißzange mit 700-mm-Elektroden.

Abbildung 6.16 – Die in der Fabrik verwendete C-Schweißzange mit 400-mm-Arm. Die Zange wird mithilfe der oben am Gerät angebrachten Griffe in Position gehalten, oben rechts im Bild ist ein Griff zu sehen (das polierte Chromteil). Dies vermittelt einen Eindruck vom Standort des Bedieners im Verhältnis zur Zange während des Schweißvorgangs.



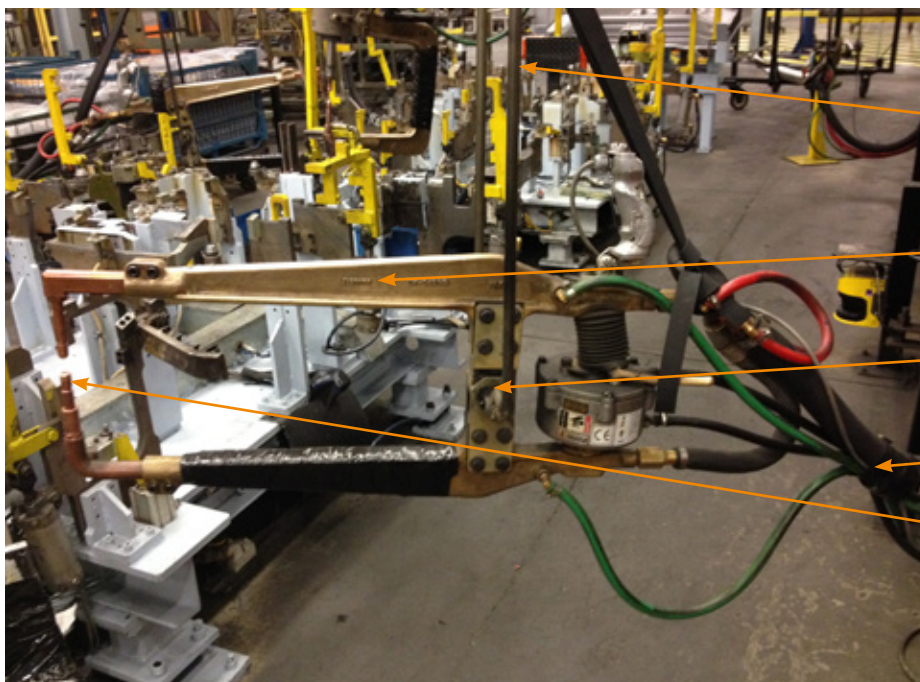
● Rechter Griff und Aktivierungsschalter

● Linker Griff

● C-Arm

● Elektroden

Abbildung 6.17 – Die in der Fabrik verwendete X-Schweißzange mit 700-mm-Elektrode. Obwohl die Zange an einem Träger aufgehängt ist, müssen die Arbeitnehmer stets nahe bei den Elektroden stehen, um sie auszurichten und in Stellung zu halten.



● Träger

● Oberer Arm

● Scharnier

● Versorgungskabel

● Elektroden

Zur Messung der zeitvariablen magnetischen Flussdichte im Umkreis der Schweißzangen wurde eine isotrope (dreiachsige) Sonde verwendet. Mithilfe eines eingebauten elektronischen Filters gab das Instrument das Messergebnis als Prozentwert aus, der mit der Methode gewichteter Spitzenwerte mit Gewichtung im Zeitbereich gewonnen wurde und somit direkt mit den in der EMF-Richtlinie festgelegten Auslöseschwellen verglichen werden konnte. Außerdem verfügte das Messinstrument über einen eingebauten Spektrumanalysator, mit dem die Oberschwingungen erkannt werden konnten.

Die Schweißgeräte wurden mit 50 Hz betrieben. Für diesen Frequenzbereich weichen die in der EMF-Richtlinie festgelegten Werte für hohe und niedrige Auslöseschwellen erheblich voneinander ab. Daher werden die Messergebnisse für die magnetische Feldstärke im Umkreis der Schweißzangen in Prozent sowohl der hohen als auch der niedrigen Auslöseschwellen angegeben.

6.11.2 Messergebnisse für das Punktschweißgerät der Fabrik

Die Messergebnisse werden unten in Abbildungen und einer Tabelle gezeigt. Alle Messungen erfolgten, während das Schweißgerät so verwendet wurde, wie es für die Arbeitstätigkeiten üblich war.

Die Abbildungen 6.18 bis 6.20 zeigen die Bereiche im Umkreis jeder Schweißzange, in denen die hohen und niedrigen Auslöseschwellen der EMF-Richtlinie und die in der Empfehlung 1999/519/EG genannten Referenzwerte überschritten wurden. Auf allen Abbildungen verlaufen die Konturen um die Schweißzangen bei 100 % des jeweils relevanten Grenzwerts, wobei die hohe Auslöseschwelle der EMF-Richtlinie in Gelb, die niedrige Auslöseschwelle in Rot und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte in Grün wiedergegeben sind. Ergänzend zu diesen Abbildungen zeigt Tabelle 6.3 das Ergebnis einer Messung in der Nähe des Versorgungskabels für die X-Schweißzange.

Abbildung 6.18 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die niedrige Auslöseschwelle (gelb), die hohe Auslöseschwelle (rot) und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte (grün) im Umkreis der mit einem 400-mm-Arm ausgestatteten C-Schweißzange der Fabrik überschritten werden könnten

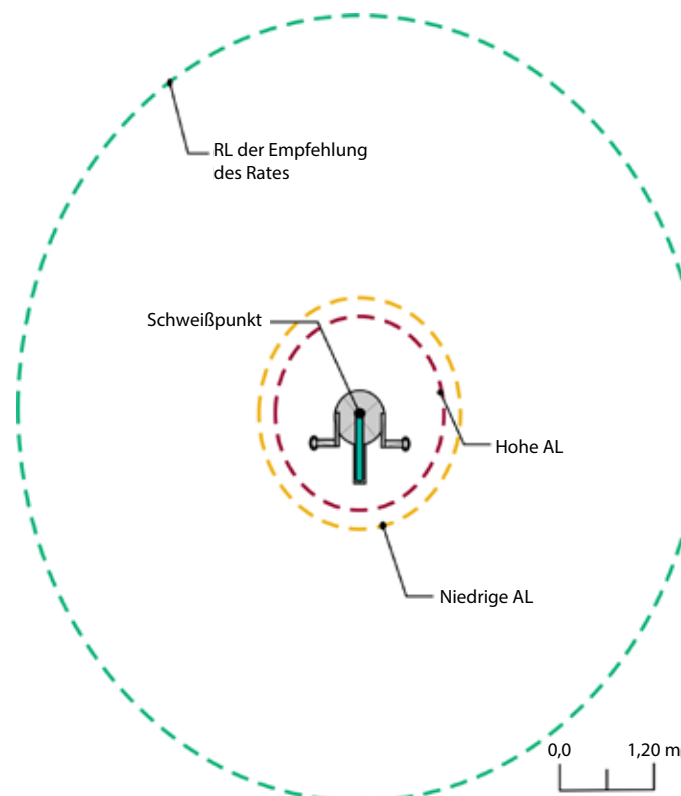


Abbildung 6.19 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die niedrige Auslöseschwelle (gelb), die hohe Auslöseschwelle (rot) und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte (grün) im Umkreis der mit 130-mm-Elektroden ausgestatteten X-Schweißzange der Fabrik überschritten werden könnten

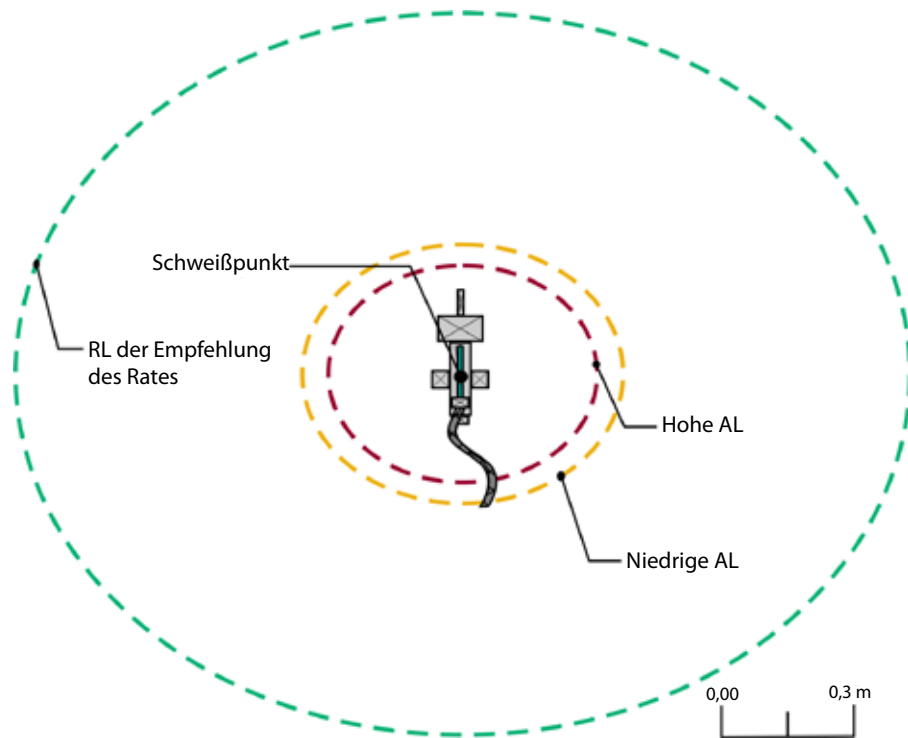


Abbildung 6.20 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die niedrige Auslöseschwelle (gelb) und die hohe Auslöseschwelle (rot) im Umkreis der mit 700-mm-Elektroden ausgestatteten X-Schweißzange der Fabrik überschritten werden könnten. Der Konturverlauf hinter der Schweißzange ist auf die Felder zurückzuführen, welche die Stromleiter an ihrer Rückseite erzeugen.

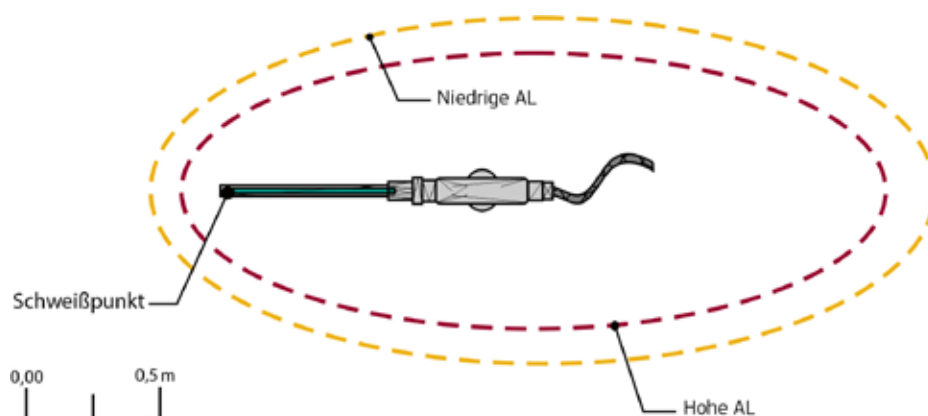


Tabelle 6.3 – Messergebnisse am Verbindungskabel zwischen X-Schweißzange und obenliegendem Transformator

Zangentyp	Stromstärke (A)	% der niedrigen Auslöseschwelle ⁽¹⁾ in 10 cm Abstand vom Kabel
X-Zange, 130 mm	8400	12

⁽¹⁾ Niedrige Auslöseschwelle für magnetische Flussdichte im Frequenzbereich 25 bis 300 Hz: 1000 μ T.

Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit ± 10 % angenommen, und das Ergebnis wurde gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Auslöseschwelle angegeben.

6.11.3 Messergebnisse für das Punktschweißgerät der Fabrik im Verhältnis zu den Auslöseschwellen

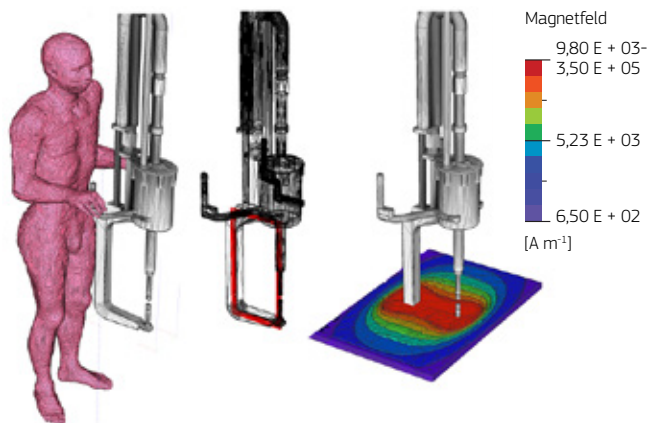
Die niedrige Auslöseschwelle wurde im Abstand von 37 cm bis 147 cm und die hohe Auslöseschwelle im Abstand von 27 cm bis 125 cm von den Schweißzangen überschritten. Dabei ist zu beachten, dass die Größe des Bereichs, in dem die Auslöseschwellen im Umkreis der mit 700-mm-Elektroden ausgestatteten X-Zange überschritten wurden (Abbildung 6.20), nicht allein auf die Elektroden, sondern auch auf die zur Rückseite der Zange führenden Stromleiter zurückzuführen war. Außerdem lag die Stärke der Magnetfelder noch in mehreren Metern Abstand von den Schweißzangen über den Referenzwerten der Empfehlung 1999/519/EG des Rates (siehe Anhang E von Band 1 des Leitfadens). Da die Bauweise der Versorgungskabel für die Schweißzangen die Exposition gegenüber magnetischen Feldern verringerte, lag die durch die Kabel bedingte Exposition, wie aus Tabelle 6.3 ersichtlich, weit unter der niedrigen Auslöseschwelle.

6.11.4 Messergebnisse für das Punktschweißgerät der Fabrik im Verhältnis zu den Expositionsgrenzwerten

Aufgrund der Ergebnisse erschien es wahrscheinlich, dass die Arbeitnehmer, da sie in 10 cm bis 20 cm Abstand von den Zangen standen, Expositionen ausgesetzt waren, die weit über die anwendbaren Auslöseschwellen hinausgingen. Und obwohl der Arbeitgeber viele der in Abschnitt 6.10 dieser Fallstudie beschriebenen Maßnahmen ergriff, war es den Arbeitnehmern nicht in allen Fällen möglich, die Bereiche zu meiden, in denen die Auslöseschwellen überschritten wurden. Im Einklang mit Artikel 4 Absatz 3 der EMF-Richtlinie berechnete der beauftragte Sachverständige daher anhand eines Computermodells, ob die anzuwendenden Expositionsgrenzwerte tatsächlich überschritten wurden.

Auf der Grundlage seiner Messungen und Beobachtungen erstellte er ein Modell der C-Schweißzange mit 400-mm-Arm. Anhand dieses Modells wurden dann die Magnetfelder im Umkreis der Schweißzange berechnet, wobei auch die Felder, in denen der fortan in das Modell einbezogene Arbeitnehmer stand, berücksichtigt wurden. Abbildung 6.21 zeigt die fertigen Modelle der Schweißzange und des Arbeitnehmers sowie das Modell der Zange mit der (rot markierten) Stromschleife, die das Magnetfeld erzeugt, und die berechnete Stärke des Magnetfelds in einer ausgewählten X-Y-Ebene.

Abbildung 6.21 – Modelle der C-Schweißzange mit 400-mm-Arm und des sie bedienenden Arbeitnehmers (links), der das Magnetfeld erzeugenden Stromschleife (C-Arm, rot) (Mitte) und des Magnetfelds im Umkreis der in Betrieb befindlichen Schweißzange (rechts)



Im Anschluss an die Modellierung von Schweißzange und Arbeitnehmer wurden zahlreiche Berechnungen der im Körper induzierten internen elektrischen Felder vorgenommen. Abbildung 6.22 zeigt die Ergebnisse dieser Berechnungen, für die ein Abstand von 15 cm zwischen Körper und Schweißzange zugrunde gelegt wurde. Rot steht für ein verhältnismäßig starkes elektrisches Feld, Violett für einen niedrigen Wert. Wie man sieht, wird das Feld vorwiegend im Bereich der Hüfte und der Oberschenkel des Bedieners absorbiert, die der Stromschleife am nächsten sind.

Im Abstand von 15 cm wurden die einschlägigen Expositionsgrenzwerte nicht überschritten, daher wurden weitere Berechnungen vorgenommen, um zu ermitteln, bei welchen Abständen diese Werte überschritten würden. Das Ergebnis dieser ergänzenden Berechnungen ist in Tabelle 6.4 wiedergegeben.

Abbildung 6.22 – Räumliche Verteilung der maximal im Menschmodell induzierten elektrischen Felder infolge der Exposition gegenüber Magnetfeldern, die durch eine C-Schweißzange mit 400-mm-Arm erzeugt werden

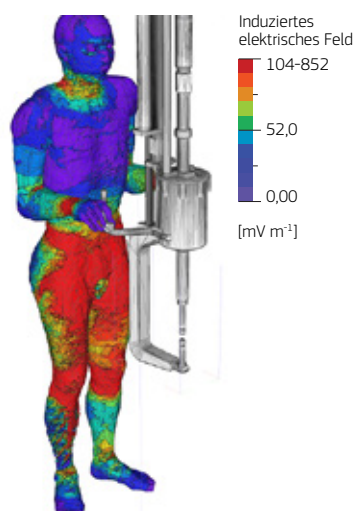


Tabelle 6.4 – Maximale interne elektrische Feldstärke in Prozent der anwendbaren Expositionsgrenzwerte (ELV)

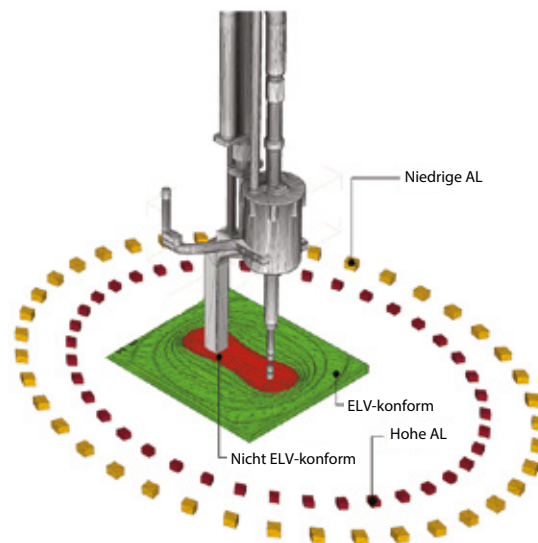
Abstand zwischen Rumpf und Schweißzange (cm)	15	7	4
Maximale im Körper induzierte elektrische Feldstärke (mVm^{-1})	287	611	811
In Prozent der ELV für gesundheitliche Wirkungen (%) ⁽¹⁾	37	79	104
Maximale im zentralen Nervensystem induzierte elektrische Feldstärke (mVm^{-1})	52	84	92
In Prozent der ELV für sensorische Wirkungen (%) ⁽²⁾	53	85	93

⁽¹⁾ Der ELV für gesundheitliche Wirkungen für die Frequenz von 50 Hz beträgt 778 mVm^{-1} (RMS).

⁽²⁾ Der Expositionsgrenzwert für sensorische Wirkungen für die Frequenz von 50 Hz beträgt 99 mVm^{-1} (RMS).

Wie aus Tabelle 6.4 hervorgeht, liegt die elektrische Feldstärke, die bei einer Verwendung der Schweißzange in 15 cm Abstand vom Körper des Arbeitnehmers maximal induziert wird, mit 287 mVm^{-1} bei 37 % des Expositionsgrenzwerts für gesundheitliche Wirkungen. Für Gewebe des zentralen Nervensystems im Kopf beträgt das maximal induzierte elektrische Feld 52 mVm^{-1} und damit 53 % des Expositionsgrenzwerts für sensorische Wirkungen. Die Ergebnisse zeigen, dass der Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen nur bei einer Verringerung des Abstands zwischen Körper und Zange auf ca. 4 cm überschritten wird. Daraus ist zu schließen, dass die Arbeitnehmer zwar Magnetfeldern ausgesetzt werden, deren Stärke oberhalb der Auslöseschwellen liegt, die internen elektrischen Felder jedoch die Expositionsgrenzwerte nicht überschreiten. Abbildung 6.23 zeigt den Größenunterschied zwischen dem Bereich, in dem die Auslöseschwellen überschritten werden, und dem Bereich, in dem der Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen beim Arbeitnehmer tatsächlich überschritten würde.

Abbildung 6.23 – Visuelle Darstellung des Bereichs um die C-Schweißzange mit 400-mm-Arm, in dem der Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen überschritten werden könnte (roter Bereich innerhalb des grünen Bereichs) im Verhältnis zu den Konturen für die hohen und niedrigen Auslöseschwellen (rot bzw. gelb) aus Abbildung 6.18



Zusammenfassend legt diese Fallstudie den Schluss nahe, dass die Auslöseschwellen eine vorsichtige Prognose einer erhöhten Exposition bedingen und dass die tatsächliche Expositionssituation der EMF-Richtlinie entspricht.

7 SCHWEISSEN

7.1 Arbeitsstätte

Diese Fallstudie bezieht sich auf eine Fertigungswerkstatt der metallverarbeitenden Industrie, in der verschiedene Widerstandsschweißgeräte verwendet werden.

7.2 Art der Arbeit

Mithilfe von Punkt- und Nahtschweißgeräten werden Drähte und Bleche geschweißt. In der Werkstatt befindet sich eine Reihe solcher Maschinen.

7.3 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen

Widerstandsschweißgeräte bestehen aus zwei Elektroden, die zu beiden Seiten der zu verschweißenden Bauteile gegeneinander gepresst werden. Wenn elektrischer Strom durch die Elektroden und Bauteile geleitet wird, entsteht durch den elektrischen Widerstand der Bauteile die für das Schweißen erforderliche Hitze. Die Einstellungen der Schweißgeräte richten sich nach den Eigenschaften der Bauteile.

7.3.1 Punktschweißgeräte

Punktschweißgeräte bestehen aus zwei kleinen zylindrischen Elektroden, mit denen die Bauteile zangenförmig umfasst und durch einen hohen Strom an einem Schweißpunkt verbunden werden. Das Unternehmen verwendet zwei Arten von Punktschweißgeräten: Tisch-Punktschweißgeräte und tragbare abgehängte Punktschweißgeräte.

Mit dem Tisch-Punktschweißgerät (Abbildung 7.1) werden in der Regel 1,2 mm starke Edelstahlrähte verschweißt. Das Gerät ist so konstruiert, dass es auf einem Tisch angebracht wird und der Bediener davor steht. In der Regel wird es mit 19 % der maximal verfügbaren Stromstärke (3500 A), also mit 665 A, und einer Stromquelle mit 50 Hz betrieben. Das abgehängte tragbare Punktschweißgerät (Abbildung 7.2) wird zum Zusammenschweißen von Metallblechen verwendet. Es besteht aus Elektrodenarmen, mit denen die Elektrodenspitzen in einer Zangenbewegung über dem Bauteil zusammengepresst werden. Es wird in der Regel mit Stromstärken von 7000 A und einer Stromquelle mit 2 kHz betrieben.

Abbildung 7.1 – Tisch-Punktschweißgerät

Schweißelektroden



Abbildung 7.2 – Abgehängtes tragbares Punktschweißgerät



7.3.2 Nahtschweißgeräte

Das Nahtschweißgerät wird verwendet, um Metallteile zusammenschweißen. Während das Werkstück zwischen rotierenden Scheibenelektroden hindurchgeführt wird, entsteht nach und nach eine Schweißnaht. Das Gerät wird in der Regel mit 7000 A und einer Stromquelle mit 50 Hz betrieben (Abbildung 7.3).

Abbildung 7.3 – Nahtschweißgerät, Frontal- und Seitenansicht



7.4 Verwendung der Geräte

Während des Schweißvorgangs steht oder sitzt der Bediener in der Regel neben den Maschinen, wobei seine Hände diesen am nächsten kommen. Bei der Verwendung des Tisch-Punktschweißgeräts und des Nahtschweißgeräts hält der Bediener das Werkstück in den Händen, die dadurch bis zu 10 cm an die Schweißelektroden herankommen können. Bei der Verwendung des abgehängten Punktschweißgeräts wird das zu schweißende Werkstück fixiert, und der Bediener steht in der Nähe des Geräts, um es in der richtigen Position zu halten. Alle Schweißgeräte befinden sich in einer Werkstatt, in der auch andere Maschinen und Werkzeuge zur Fertigung von Metallbauteilen verwendet werden.

7.5 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung

Das Unternehmen überprüfte für jedes Gerät die Angaben des Herstellers. In einigen Bedienungsanleitungen wurde darauf hingewiesen, dass das Gerät Magnetfelder erzeugen könnte, die für Träger von Herzschrittmachern eine Gefahr darstellen könnten. Allerdings konnte das Unternehmen keine Angaben zum Ausmaß dieser Gefahr (d. h. bis zu welchem Abstand vom Gerät sie auftrat) oder zur Stärke der Magnetfelder im Verhältnis zu den in der EMF-Richtlinie genannten Auslöseschwellen finden. Für einige ältere Geräte waren überhaupt keine Herstellerangaben ausfindig zu machen.

Die Schweißgeräte befinden sich in der Werkstatt, zu der die meisten Arbeitnehmer Zugang haben und die auch von externen Auftragnehmern und Besuchern betreten werden konnte. Aus diesem Grund beschloss das Unternehmen, eingehendere Risikobewertungen vorzunehmen. Da von den Geräteherstellern keine näheren Informationen erhältlich waren, beauftragte das Unternehmen zu diesem Zweck einen Fachberater.

Zur näheren Bewertung wurden drei verschiedene Arten von Widerstandsschweißgeräten ausgewählt, da die Ergebnisse brauchbare Hinweise auf Gefahren liefern würden, die von ähnlichen Maschinen in der Werkstatt ausgingen. Der Berater erfasste die magnetische Flussdichte im Umkreis der Geräte mit einem Messinstrument, das mithilfe eines

eingebauten elektronischen Filters einen Prozentwert anzeigte, der mit der Methode gewichteter Spitzenwerte mit Gewichtung im Zeitbereich gewonnen wurde und somit direkt mit den Auslöseschwellen verglichen werden konnte.

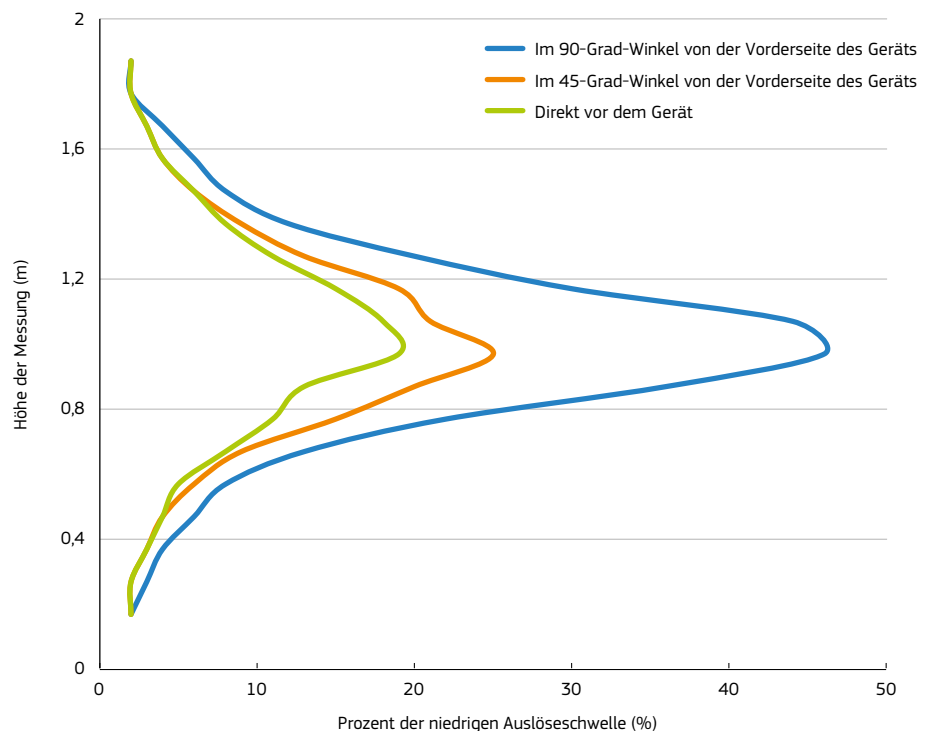
7.6 Ergebnisse der Expositionsbewertung

7.6.1 Tisch-Punktschweißgerät

Der Berater beobachtete den Bediener bei der Verwendung des Tisch-Punktschweißgeräts. Er stellte fest, dass sich Kopf und Rumpf des Bedieners während des Schweißens stets mindestens 30 cm von den Elektroden entfernt befanden und dass er bisweilen nicht direkt vor, sondern neben dem Gerät stand. Daher wurden an drei Stellen in 30 cm Abstand von den Elektroden Messungen vorgenommen: in direkter Linie vor der Vorderseite der Elektroden sowie im Winkel von 45° (links) und im Winkel von 90° (links) von der Vorderseite der Elektroden. An jeder dieser Positionen wurden Messungen in verschiedenen Höhen vorgenommen.

Dabei wurde festgestellt, dass die magnetische Flussdichte an keinem dieser möglichen Standorte des Bedieners über 50 % der niedrigen Auslöseschwelle hinausging (Abbildung 7.4).

Abbildung 7.4 – Magnetische Flussdichte in Prozent der niedrigen Auslöseschwelle in verschiedenen Höhen am Standort des Bedieners (in 30 cm Abstand von den Elektroden)



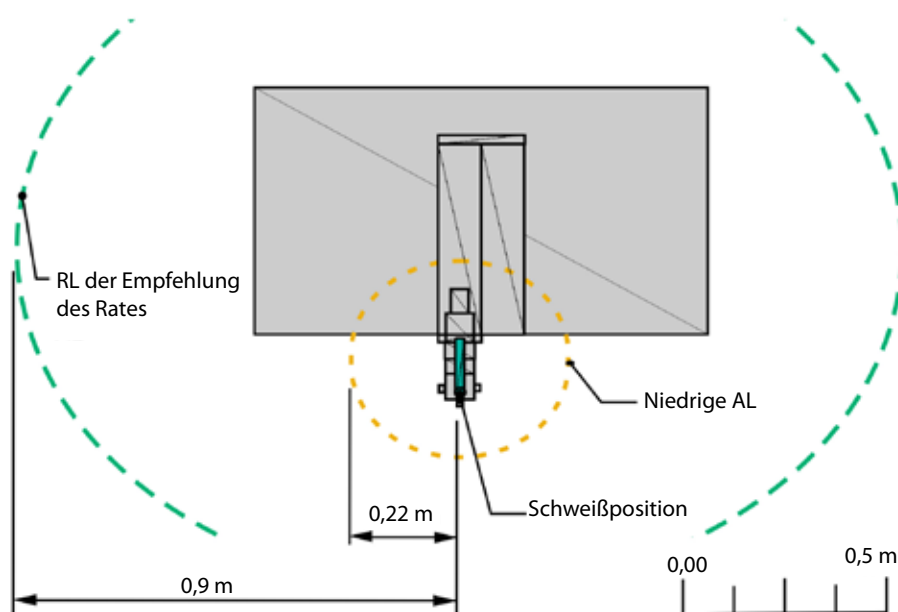
Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 10\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Auslöseschwelle angegeben.

Im Abstand von ca. 22 cm und in der Höhe, in der die Elektroden aufeinandertreffen, entsprach die magnetische Flussdichte der niedrigen Auslöseschwelle. Abbildung 7.5 zeigt den Bereich, in dem die niedrige Auslöseschwelle überschritten werden könnte.

Die Hände des Bedieners befanden sich während des Schweißvorgangs den Beobachtungen zufolge in mindestens 10 cm Abstand von den Elektroden. An dieser Stelle betrug die magnetische Flussdichte weniger als 8 % der Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen.

Der Berater nahm Messungen an verschiedenen anderen Positionen im Umkreis des Geräts vor und verglich deren Ergebnisse mit den in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerten. Diese Werte können als grobe Indikatoren für die Exposition besonders gefährdeter Arbeitnehmer herangezogen werden (siehe Anhang E von Band 1 dieses Leitfadens). Er stellte fest, dass die Referenzwerte im Abstand von bis zu 1 m von den Elektroden überschritten werden könnten. Dieser Bereich ist in Abbildung 7.5 durch eine grüne Umrisslinie gekennzeichnet.

Abbildung 7.5 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die niedrige Auslöseschwelle (gelb) und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte (RL; grün) im Umkreis des Tisch-Punktschweißgeräts überschritten werden könnten

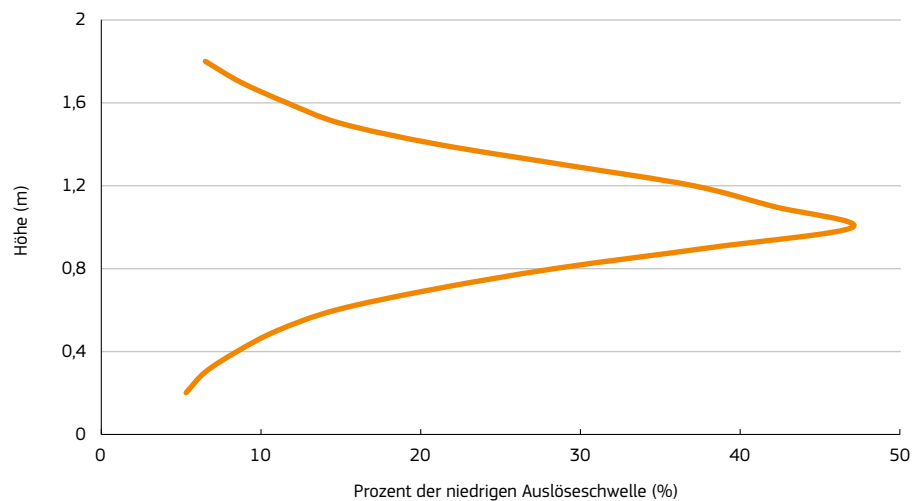


7.6.2 Abgehängtes tragbares Punktschweißgerät

Während des Schweißvorgangs hält der Bediener das Punktschweißgerät in der richtigen Position. Aufgrund der Länge der Elektrodenarme (75 cm) steht er etwa 1 m von den Elektrodenspitzen entfernt. An dieser Stelle wurden in verschiedenen Höhen Messungen vorgenommen.

Das höchste Messergebnis ergab sich in der Höhe, in der die Elektroden aufeinandertreffen (bei dieser Bewertung in 1 m Abstand vom Boden). Dabei wurde festgestellt, dass die magnetische Flussdichte am Standort des Bedieners nicht über 50 % der niedrigen Auslöseschwelle hinausging (Abbildung 7.6).

Abbildung 7.6 – Magnetische Flussdichte in Prozent der niedrigen und hohen Auslöseschwelle in verschiedenen Höhen am Standort des Bedieners (in 1 m Abstand von den Elektrodenspitzen)



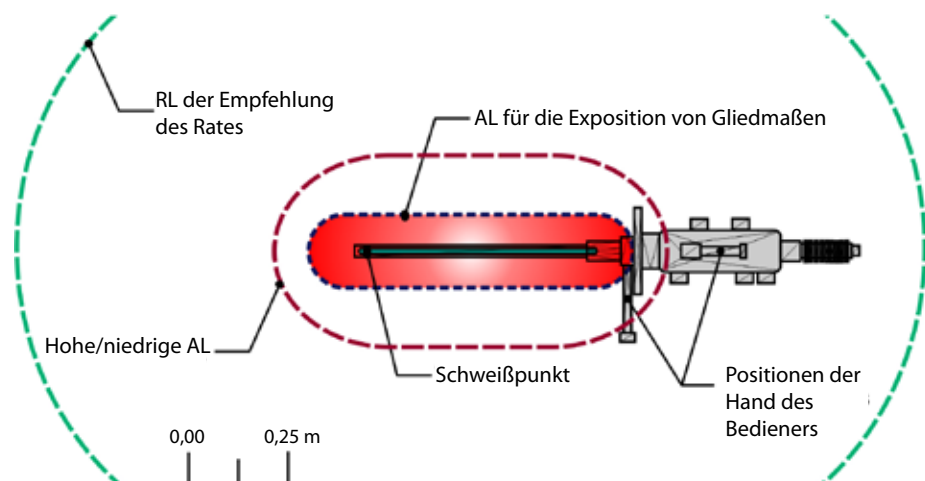
Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 10\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Auslöseschwellen angegeben.

Ein Messpunkt war auch die Stelle, an der sich die Hand des Bedieners befand (Abbildung 7.2). Hier betrug die magnetische Flussdichte 88 % der Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen.

Der Berater nahm Messungen an verschiedenen anderen Positionen im Umkreis des Geräts vor und verglich deren Ergebnisse mit den in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerten. Er stellte fest, dass die Referenzwerte im Abstand von bis zu höchstens 1,3 m von der Maschine überschritten werden könnten.

Die Bereiche, in denen die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen, die hohe und niedrige Auslöseschwelle sowie die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten werden könnten, werden in Abbildung 7.7 durch blaue, rote und grüne Konturen dargestellt.

Abbildung 7.7 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen (blau), die hohe/niedrige Auslöseschwelle (rot) und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte (grün) im Umkreis des tragbaren abgehängten Punktschweißgeräts überschritten werden könnten

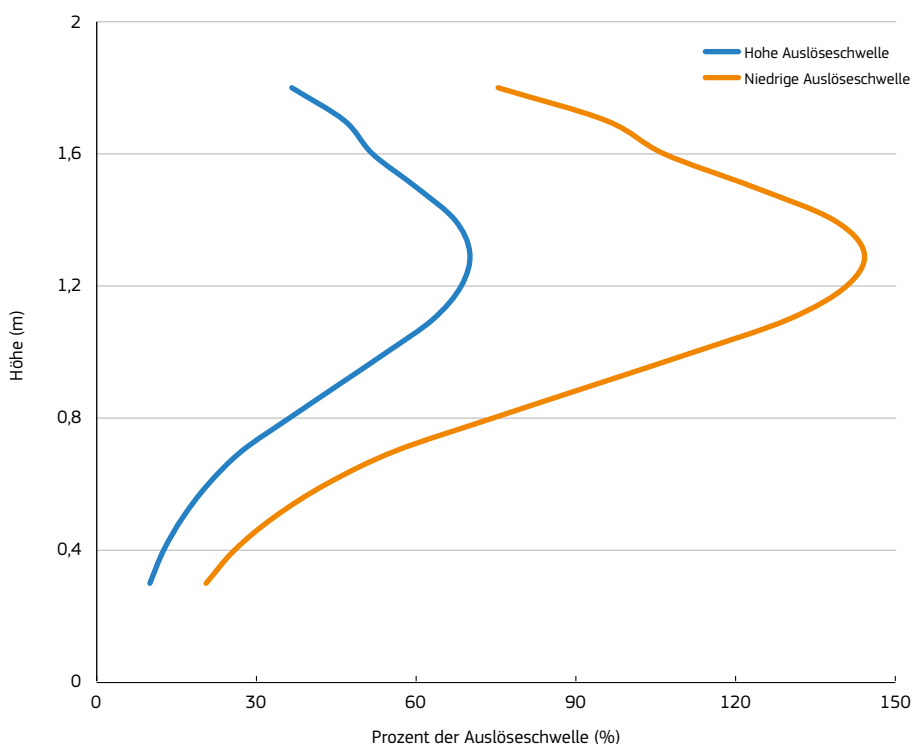


7.6.3 Nahtschweißgerät

Der Bediener steht neben dem Gerät, Kopf und Rumpf sind während des Schweißvorgangs mindestens 50 cm von der Mitte der Elektroden entfernt. An dieser Stelle wurden in verschiedenen Höhen Messungen vorgenommen.

Das höchste Messergebnis ergab sich in der Höhe, in der die Elektroden aufeinandertreffen (in 130 cm Abstand vom Boden). Die hohe Auslöseschwelle wurde an dieser Stelle nicht überschritten, die magnetische Flussdichte allerdings betrug der Messung zufolge rund 140 % der niedrigen Auslöseschwelle (Abbildung 7.8).

Abbildung 7.8 – Magnetische Flussdichte in Prozent der niedrigen und hohen Auslöseschwelle in verschiedenen Höhen am Standort des Bedieners (in 50 cm Abstand seitlich von den Elektroden)



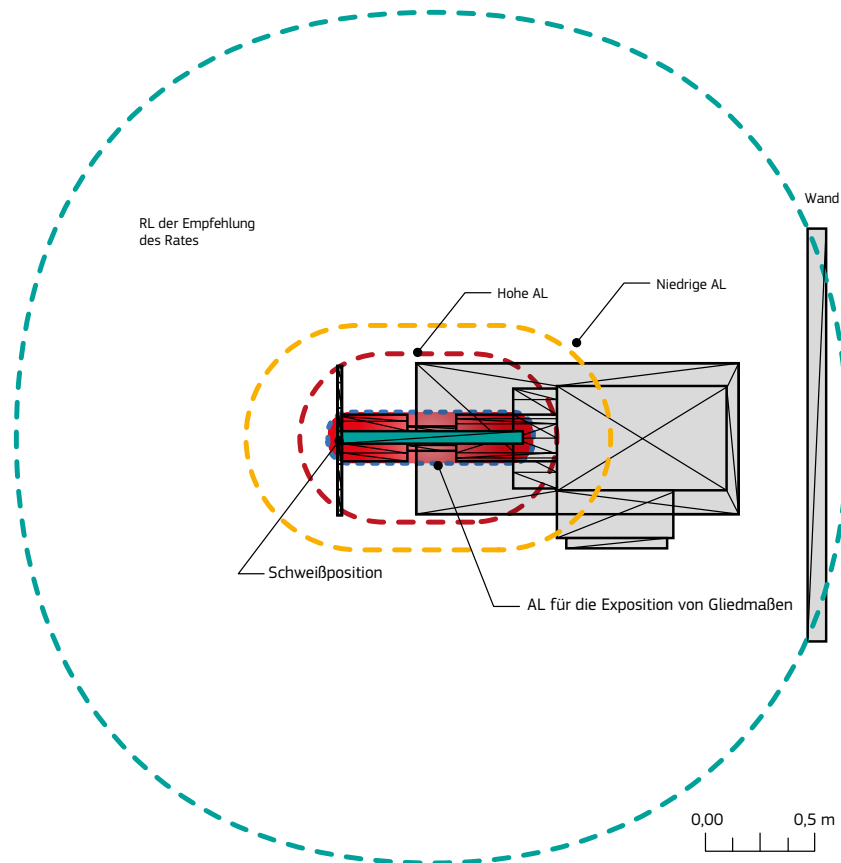
Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 10\%$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Auslöseschwellen angegeben.

Die Messungen erfolgten an der Stelle, an der sich die Hand des Bedieners in größter Nähe zu den Elektroden befand (ca. 10 cm vom Schweißpunkt entfernt). Hier lag die magnetische Flussdichte unter 67 % der Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen. Allerdings wurde festgestellt, dass diese Auslöseschwelle überschritten werden könnte, wenn sich die Gliedmaßen nicht seitlich neben, sondern hinter den Schweißelektroden befanden.

Ähnlich wie im Falle des Punktschweißgeräts nahm der Berater Messungen an verschiedenen anderen Positionen im Umkreis des Geräts vor und verglich deren Ergebnisse mit den in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerten. Er stellte fest, dass die Referenzwerte im Abstand von bis zu 2,45 m von den Elektroden überschritten werden könnten.

Abbildung 7.9 zeigt, in welchen Bereichen die hohen und die niedrigen Auslöseschwellen und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten werden könnten.

Abbildung 7.9 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen (blau), die hohe Auslöseschwelle (rot), die niedrige Auslöseschwelle (gelb) und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte (grün) im Umkreis des Nahtschweißgeräts überschritten werden könnten



7.7 Risikobewertung

Auf der Grundlage der Bedienungsanleitungen und der Messungen des Beraters führte das Unternehmen für seine Schweißgeräte Risikobewertungen mit Bezug auf elektromagnetische Felder durch (Tabellen 7.1, 7.2 und 7.3). Er folgte dabei der auf der OIRA (der Plattform der EU-OSHA für die interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung) empfohlenen Vorgehensweise. Die Risikobewertung führte zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Am üblichen Standort des Bedieners werden die hohe Auslöseschwelle und die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen nicht überschritten.
- Am Standort des Bedieners des Nahtschweißgeräts könnte die niedrige Auslöseschwelle überschritten werden.
- Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten im Umkreis jedes Schweißgeräts überschritten werden.

Das Unternehmen erstellte auf der Grundlage der Risikobewertung einen Aktionsplan und dokumentierte diesen.

Tabelle 7.1 – Risikobewertung mit Bezug auf elektromagnetische Felder für das Tisch-Punktschweißgerät

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad			Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen
			Gering	Schwerwiegend Lebensgefährlich	Wahrscheinlichkeit		
				Unwahrscheinlich Möglich Wahrscheinlich			
<p>Direkte Wirkungen des EMF</p> <p>Im Abstand von bis zu 22 cm von den Elektroden könnte die niedrige Auslöseschwelle überschritten werden</p> <p>Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten in einem Abstand von bis zu 1 m von den Elektroden überschritten werden</p>	<p>Der Bediener befindet sich normalerweise in höchstens 30 cm Abstand von den Elektroden, ein Standort, an dem die niedrige Auslöseschwelle nicht überschritten werden dürfte</p>	<p>Bediener</p> <p>Besonders gefährdete Arbeitnehmer (schwängere Arbeitnehmerinnen)</p>	✓	✓	Gering	<p>Unterrichtung und Unterweisung der Schweißer und anderer Arbeitnehmer in der Werkstatt</p> <p>Das Gerät wird mit Warnhinweisen versehen</p> <p>Der Bereich, in dem die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten werden könnten, wird durch eine Markierung auf dem Boden gekennzeichnet</p> <p>Schwängeren Arbeitnehmerinnen wird untersagt, das Gerät zu verwenden oder während dessen Verwendung die Markierung zu übertreten</p>	
<p>Indirekte Auswirkungen des EMF (Auswirkung auf aktive implantierte medizinische Geräte)</p> <p>Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten in einem Abstand von bis zu 1 m von den Elektroden überschritten werden</p>	Keine	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	✓	✓	Gering	<p>Alle Arbeitnehmer werden über diese Gefahr unterrichtet</p> <p>Die Sicherheitsinformationen des Unternehmens werden um Warnungen ergänzt</p> <p>Das Gerät wird mit Warn- und Verbotshinweisen versehen</p> <p>Arbeitnehmern mit aktiven implantierten medizinischen Geräten wird untersagt, das Gerät zu verwenden oder während dessen Verwendung die Markierung zu übertreten</p>	

Tabelle 7.2 – Risikobewertung mit Bezug auf elektromagnetische Felder für das abgehängte Punktschweißgerät

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad		Wahrscheinlichkeit		Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen
			Gering	Schwerwiegend Lebensgefährlich	Unwahrscheinlich	Möglich Wahrscheinlich		
<p>Direkte Wirkungen des EMF</p> <p>Im Abstand von bis zu 33 cm von den Elektrodenarmen könnten die niedrige und die hohe Auslöseschwelle überschritten werden</p> <p>Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten im Abstand von bis zu 1,3 m von dem Gerät überschritten werden</p>	Keine. Der Bereich, in dem die hohe und die niedrige Auslöseschwelle überschritten werden könnten, ist allerdings örtlich begrenzt.	<p>Bediener</p> <p>Sonstige Arbeitnehmer</p> <p>Besonders gefährdete Arbeitnehmer (schwängere Arbeitnehmerinnen)</p>	✓		✓		Gering	<p>Unterrichtung und Unterweisung der Schweißer und anderer Arbeitnehmer in der Werkstatt</p> <p>Das Gerät wird mit Warnhinweisen versehen</p> <p>Der Bereich, in dem die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten werden könnten, wird durch eine Markierung auf dem Boden gekennzeichnet</p> <p>Schwangeren Arbeitnehmerinnen wird untersagt, das Gerät zu verwenden oder während dessen Verwendung die Markierung zu übertreten</p>
<p>Indirekte Auswirkungen des EMF (Auswirkung auf aktive implantierte medizinische Geräte)</p> <p>Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten in einem Abstand von bis zu 1,3 m von den Elektroden überschritten werden</p>	Keine	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	✓		✓		Gering	<p>Alle Arbeitnehmer werden über diese Gefahr unterrichtet</p> <p>Die Sicherheitsinformationen des Unternehmens werden um Warnungen ergänzt</p> <p>Das Gerät wird mit Warn- und Verbotshinweisen versehen</p> <p>Arbeitnehmern mit aktiven implantierten medizinischen Geräten wird untersagt, das Gerät zu verwenden oder während dessen Verwendung die Markierung zu übertreten</p>

Tabelle 7.3 – Bewertung der Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder für das Nahtschweißgerät

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad			Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen
			Gering	Schwerwiegend Lebensgefährlich	Wahrscheinlichkeit		
				Unwahrscheinlich	Möglich	Wahrscheinlich	
<p>Direkte Wirkungen des EMF</p> <p>Die niedrige Auslöseschwelle wird am Standort des Bedieners überschritten</p> <p>Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten im Abstand von bis zu 2,45 m von den Elektroden überschritten werden</p>	Keine	<p>Bediener</p> <p>Sonstige Arbeitnehmer</p> <p>Besonders gefährdete Arbeitnehmer (schwangere Arbeitnehmerinnen)</p>	✓			✓	<p>Gering</p> <p>Unterrichtung und Unterweisung der Schweißer und anderer Arbeitnehmer, insbesondere im Hinblick auf mögliche sensorische Wirkungen und die Notwendigkeit, deren Auftreten in jedem Fall zu melden</p> <p>Das Gerät wird mit Warnhinweisen versehen</p> <p>Der Bereich, in dem die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten werden könnten, wird durch eine Markierung auf dem Boden gekennzeichnet</p> <p>Schwangeren Arbeitnehmerinnen wird untersagt, das Gerät zu verwenden oder während dessen Verwendung die Markierung zu übertreten</p>
<p>Indirekte Auswirkungen des EMF (Auswirkung auf aktive implantierte medizinische Geräte)</p> <p>Die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte könnten im Abstand von bis zu 2,45 m von den Elektroden überschritten werden</p>	Keine	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	✓		✓		<p>Gering</p> <p>Alle Arbeitnehmer werden über diese Gefahr unterrichtet</p> <p>Die Sicherheitsinformationen des Unternehmens werden um Warnungen ergänzt</p> <p>Das Gerät wird mit Warn- und Verbotshinweisen versehen</p> <p>Arbeitnehmern mit aktiven implantierten medizinischen Geräten wird untersagt, das Gerät zu verwenden oder während dessen Verwendung die Markierung zu übertreten</p>

7.8 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen

Vor der Bewertung der Messungen durch den Berater bestanden keine spezifischen Schutzmaßnahmen zur Begrenzung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern.

7.9 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse

Auf der Grundlage der Bewertung der Messungen und nach einer Einschätzung der mit den Geräten einhergehenden Gefahren erstellte das Unternehmen einen Aktionsplan und beschloss folgende Maßnahmen:

- Die Arbeitnehmer werden über die von Schweißgeräten ausgehenden Gefahren mit Bezug auf elektromagnetische Felder unterrichtet.
- Der Bereich, in dem die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten werden könnten, wird durch Markierungen auf dem Boden gekennzeichnet.
- Schwangeren Arbeitnehmerinnen und Trägern aktiver implantierter medizinischer Geräte wird die Verwendung der Schweißgeräte und das Übertreten der Markierungen untersagt.
- Die Schweißgeräte werden mit Warnhinweisen für starke Magnetfelder und Verbotshinweisen für Träger aktiver implantierter medizinischer Geräte (Abbildung 7.10) versehen.
- Durch geeignete Einführungsprogramme für das Werk und in Zusammenarbeit mit Auftragnehmern wird gewährleistet, dass Personen, welche die Werkstatt betreten, sich über die Risiken bewusst sind.

Abbildung 7.10 – Beispiele für Warnhinweise für starke Magnetfelder und Verbotssymbol für Träger aktiver implantierter medizinischer Geräte



**Achtung
Das Gerät erzeugt
während des Betriebs
starke magnetische Felder**



**Während des Schweißens
die gelbe Linie nicht übertreten**

7.10 Weiterführende Informationsquellen

Computerbasierte Modellrechnungen aufgrund der Messergebnisse im Umkreis aller drei Schweißmaschinen ergaben, dass die induzierten elektrischen Felder mit den Expositionsgrenzwerten konform waren.

7.10.1 Tisch-Punktschweißgerät

Im Falle des Tisch-Punktschweißgeräts wurde festgestellt, dass sich die Exposition des Bedieners auf weniger als 1 % des Expositionsgrenzwerts belaufen würde (Abbildung 7.11). Der Expositionsgrenzwert konnte nur überschritten werden, wenn sich der Körper des Bedieners bei laufendem Betrieb in der Lücke zwischen den Elektroden und dem Gehäuse des Schweißgeräts oder in weniger als 1 cm Abstand von den Elektroden befand (Abbildung 7.12).

Abbildung 7.11 – Verteilung des induzierten elektrischen Feldes im Menschmodell, wenn sich der Rumpf 20 cm und die Hände ca. 8 cm von den Elektroden entfernt befinden. Die Abbildung zeigt auch die räumliche Verteilung der maximalen internen elektrischen Felder, die bei der Exposition gegenüber dem Punktschweißgerät a) auf der Körperoberfläche und b) auf verschiedenen horizontalen Schnittebenen innerhalb des Körpers des Bedieners induziert werden.

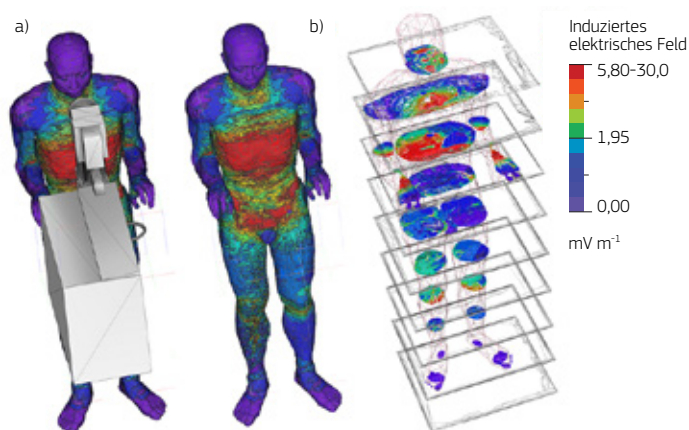
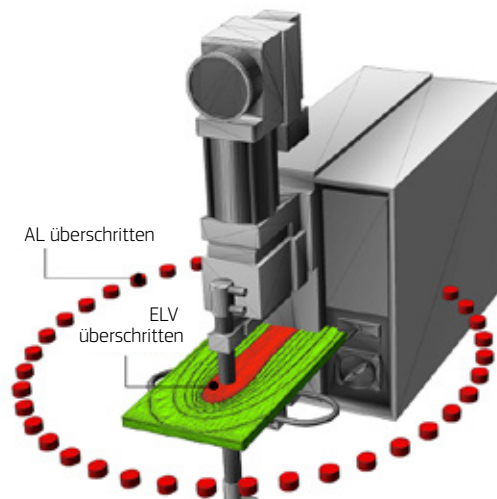


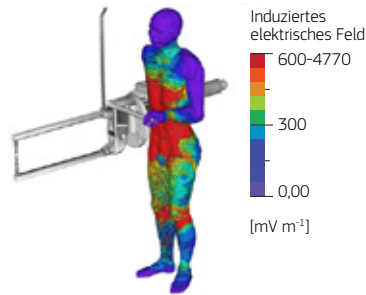
Abbildung 7.12 – Konturen im Umkreis des Tisch-Punktschweißgeräts für die Bereiche, in denen die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen überschritten werden könnten (rot eingefärbter Bereich). Gezeigt werden außerdem die Bereiche, in denen der Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen nicht überschritten wird (der grüne Bereich und darüber hinaus), und der Bereich, in dem die niedrige Auslöseschwelle überschritten werden könnte (rote Kreispunkte).



7.10.2 Abgehängtes tragbares Punktschweißgerät

Im Falle des abgehängten tragbaren Punktschweißgeräts wurde festgestellt, dass die Auslöseschwellen am Standort des Bedieners nicht überschritten wurden. Abbildung 7.13 zeigt die Verteilung des induzierten elektrischen Feldes.

Abbildung 7.13 – Räumliche Verteilung der maximal induzierten elektrischen Felder im Menschmodell bei der Exposition gegenüber dem abgehängten tragbaren Punktschweißgerät



7.10.3 Nahtschweißgerät

Die niedrige Auslöseschwelle wurde am Standort des Bedieners überschritten. Allerdings ergab die computergestützte Modellierung, dass die Exposition am Standort des Bedieners weniger als 50 % des Expositionsgrenzwerts betrug. Abbildung 7.14 zeigt die Verteilung des induzierten elektrischen Feldes. Es wurde festgestellt, dass der Expositionsgrenzwert nur überschritten werden konnte, wenn sich der Körper des Bedieners bei laufendem Betrieb in der Lücke zwischen den Elektroden und dem Gehäuse des Schweißgeräts oder in weniger als 5 cm Abstand von den Elektroden befand. Dieser Bereich ist in Abbildung 7.15 rot eingefärbt.

Abbildung 7.14 – Räumliche Verteilung der maximal durch die Exposition gegenüber dem Nahtschweißgerät im Menschmodell induzierten internen elektrischen Felder

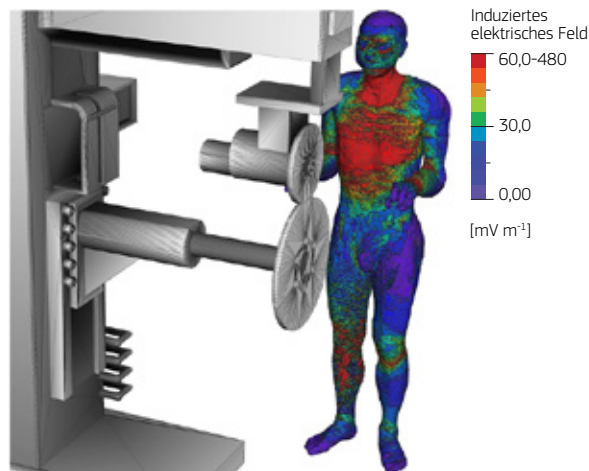
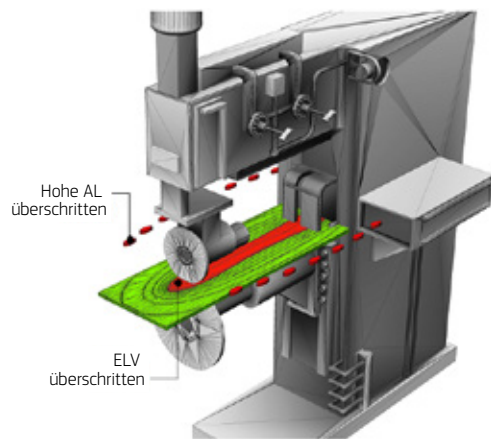


Abbildung 7.15 – Konturen im Umkreis des Nahtschweißgeräts für die Bereiche, in denen der Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen überschritten werden könnte (rot eingefärbter Bereich). Gezeigt werden außerdem die Bereiche, in denen der Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen nicht überschritten wird (der grüne Bereich und darüber hinaus), und der Bereich, in dem die hohe Auslöseschwelle überschritten werden könnte (rot gestrichelt).



8 METALLURGISCHE FERTIGUNG

In dieser Fallstudie werden folgende Quellen elektromagnetischer Felder behandelt:

- Induktionsöfen;
- Lichtbogenöfen;
- ein Kohlenstoff- und Schwefelanalysator mit eingebautem kleinem Ofen.

8.1 Arbeitsstätte

Die Geräte, die elektromagnetische Felder erzeugten, wurden in der Fabrik an verschiedenen Arbeitsplätzen zur Herstellung von Spezialmetallen und Legierungen für unterschiedliche Branchen verwendet. Dabei waren folgende Arbeitsorte zu beachten:

- eine Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen;
- eine Herstellungsanlage für Ferrotitan;
- eine große elektrische Schmelzanlage;
- eine Lichtbogenofenanlage;
- ein Analyselabor.

8.2 Art der Arbeit

In verschiedenen Bereichen der Fabrik wurden Rohstoffe zu Metallen und Legierungen verarbeitet, außerdem führte das Unternehmen in einem Labor Analysen durch.

Bei den Tätigkeiten, die Gegenstand dieser Fallstudie waren, handelte es sich zumeist um die manuelle Beschickung von Öfen, die je nach Anlage oftmals bei laufendem Betrieb erfolgte.

Aufgrund weiterer Risiken wie elektrischer Schlag, Verbrennungen, Anprall beweglicher Maschinenteile usw. fanden Wartungs- und Reparaturarbeiten nur an abgeschalteten Anlagen statt.

8.3 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen, und zu deren Verwendung

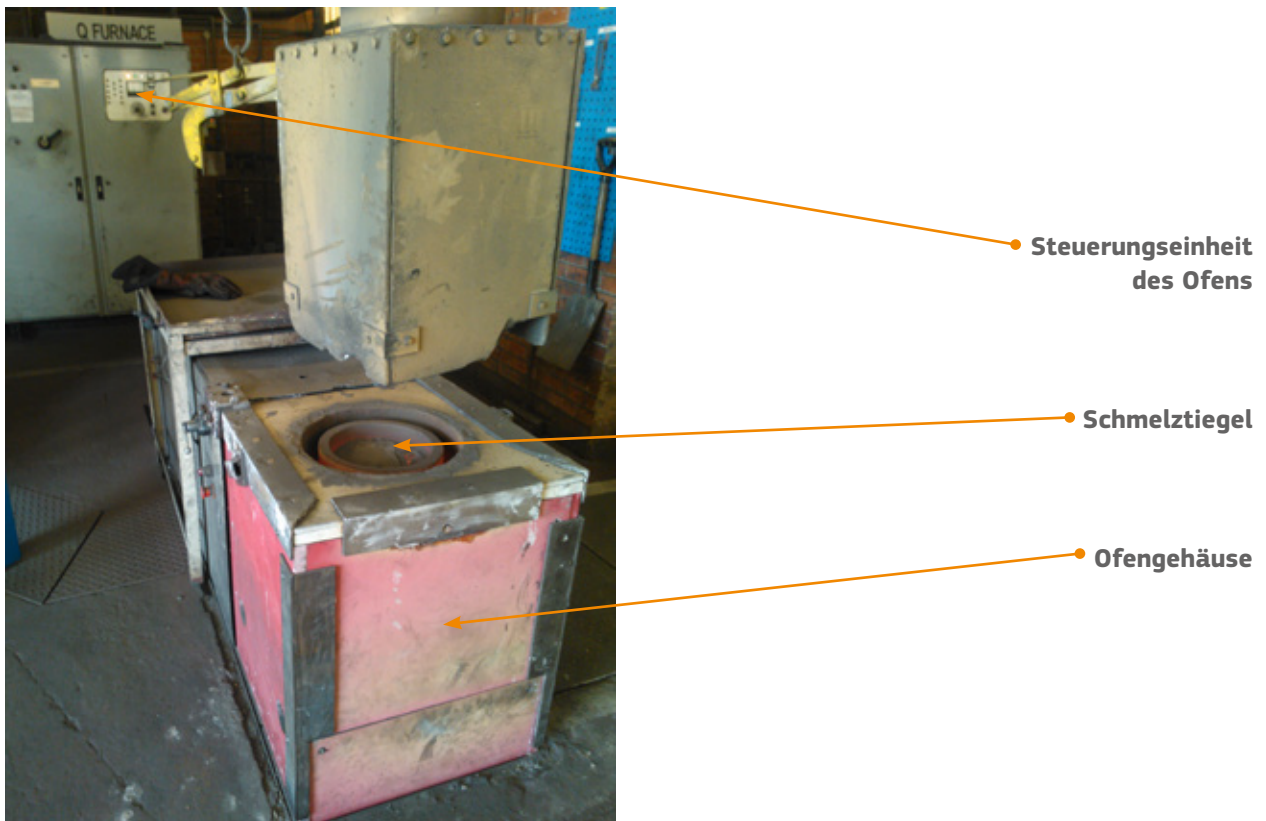
8.3.1 Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen

Mit dieser Anlage werden in einem kleinen Induktionsofen (ca. 30 cm Durchmesser) Legierungen hergestellt. Der Induktionsofen wird mit Frequenzen zwischen 2,4 kHz und 2,6 kHz und einer Leistung von 60 kW bis 160 kW betrieben. Der Ofen, der in Abbildung 8.1 gezeigt wird, funktioniert folgendermaßen:

- Der Ofen wird mit einem Schmelztiegel beschickt, der bis zu 45 kg Rohstoffe enthält.
- Der Bediener stellt die Leistung auf 60 kW ein und schaltet den Ofen ein, der zunächst mit einer Frequenz von 2,42 kHz betrieben wird.

- Im Verlauf von ca. 25 Minuten wird die Leistung automatisch auf 160 kW gesteigert.
- Im selben Zeitraum steigt auch die Frequenz auf 2,6 kHz.
- Nach ca. 25 Minuten reduziert der Bediener die Leistung auf 80 kW.
- Nach weiteren fünf Minuten schaltet der Bediener den Ofen aus und holt den Schmelztiegel heraus.

Abbildung 8.1 – Induktionsofen der Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen



8.3.2 Herstellungsanlage für Ferrotitan

Diese Anlage verfügte über zwei Induktionsofen mit einer Kapazität von je 1,5 Tonnen, die an eine einzige Steuerungseinheit für variablen Induktionsstrom angeschlossen waren. Die Öfen wurden mit Frequenzen von 217 Hz bis 232 Hz und einer Leistung von 600 kW betrieben. Die Schmelztiegel wurden in der Regel bei laufendem Ofenbetrieb von Hand befüllt.

8.3.3 Große elektrische Schmelzanlage

Die Anlage war mit zehn Induktionsofen ausgestattet, die jeweils über eine Kapazität von 1,5 Tonnen verfügten und mit einer Stromfrequenz von 50 Hz betrieben wurden. Die Induktionsspulen waren direkt in die Schmelztiegel eingebaut, sodass auch während des Gießens Strom zugeführt und das Metall flüssig gehalten werden konnte.

Die Schmelztiegel wurden in eine erhöhte Bühne eingesetzt, sodass ihr oberer Rand mit dieser eine Ebene bildete, und die Bediener beschickten sie während des Schmelzprozesses normalerweise manuell von der Bühne aus. Am Ende des Schmelzprozesses wurden die Tiegel gekippt und das geschmolzene Metall ausgegossen.

Die Öfen wurden mit einer Leistung im Bereich 70 kW bis 1300 kW betrieben. Die den Öfen zugeführte Leistung variierte während des Schmelzprozesses und wurde gegen dessen Ende zurückgefahren, da der geschmolzene Zustand des Metalls mit weniger Energie aufrechterhalten werden konnte.

Die Stromversorgung der Öfen stammte von zwei Transformatoren, die unter ihnen in Kellerräumen untergebracht waren. Die Transformatoren und die Sammelschienen waren in Käfigen untergebracht, und der Zugang zu ihnen war durch ein Castell-Schließsystem gesichert. Die Steuerungseinheiten, mit denen der Induktionsstrom geregelt wurde, befanden sich in Kontrollräumen auf der Ofenbühne.

8.3.4 Lichtbogenofenanlage

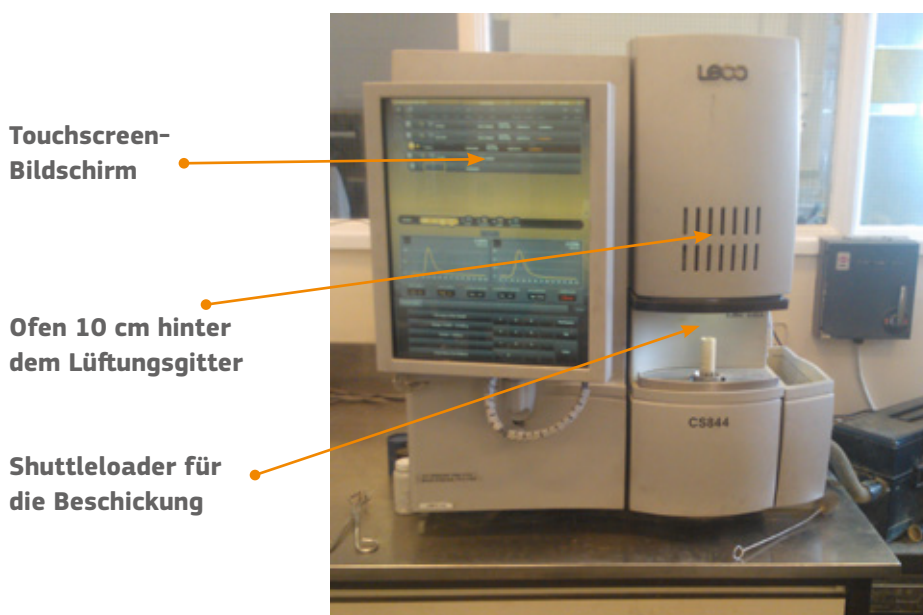
Die Anlage war mit zwei Lichtbogenöfen ausgestattet, mit denen Nickel-Bor und Chrom-Bor-Legierungen hergestellt wurden und die mit einer Stromfrequenz von 50 Hz betrieben wurden. Bei den Öfen handelte es sich um Chargenöfen, die im Dauerbetrieb rund 1 Tonne Legierung pro Charge produzierten. Diese Öfen wurden von Hand beschickt und von den Kontrollräumen aus bedient.

Die Öfen wurden mit einer Leistung von 500 kW bis 1000 kW betrieben. Die Transformatoren und die Sammelschienen, mit denen die Öfen mit Strom versorgt wurden, waren in Käfigen untergebracht, deren Zugang durch ein Castell-Schließsystem gesichert war.

8.3.5 Analyselabor

In diesem Labor wurde ein Kohlenstoff- und Schwefelanalysator verwendet, bei dem es sich um ein Tischgerät handelte. In den Analysator war ein kleiner Ofen mit 2,2 kW Leistung eingebaut, der mit einer Stromfrequenz von 18 MHz betrieben wurde. Nachdem der Bediener den Analysator mit einer Probe beschickt hatte, wurde diese in die Mitte der Ofenspule gehoben, die sich innerhalb des Analysators in ca. 10 cm Abstand vom Gehäuse befand. Anschließend fand die Analyse statt, während deren der Ofen etwa eine Minute lang eingeschaltet wurde. Dann wurde die Probe an der Unterseite des Ofens ausgegeben und vom Bediener entnommen. Der gesamte Prozess vom Einbringen bis zur Entnahme der Probe lief automatisch ab, und der Bediener musste sich während des laufenden Betriebs nicht in der Nähe des Analysators aufhalten. Abbildung 8.2 zeigt den Analysator.

Abbildung 8.2 – Kohlenstoff- und Schwefelanalysator im Analyselabor



8.4 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung

Die Expositionsmessungen wurden von einem Fachberater unter Verwendung von Spezialinstrumenten vorgenommen. Aufgrund der Größe des Werksgeländes und der zahlreichen Arbeitsbereiche, in denen elektromagnetische Felder entstehen konnten, wurde eingangs eine Erhebung durchgeführt, um festzustellen, in welchen Bereichen die Auslöseschwellen (AL) überschritten werden könnten. In diesen Bereichen wurden anschließend noch einmal genauere Messungen vorgenommen, damit ein Aktionsplan erstellt werden konnte. Alle Messungen erfolgten an Orten, die für Arbeitnehmer während des laufenden Maschinenbetriebs zugänglich waren.

Der Schwerpunkt der Messungen lag auf den durch die Maschinen erzeugten Magnetfeldern, da zu erwarten war, dass diese am stärksten zur Exposition der Arbeitnehmer beitrugen.

Zur Bewertung der Exposition besonders gefährdeter Arbeitnehmer wurden die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte herangezogen (siehe Anhang E von Band 1 des Leitfadens).

8.4.1 Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen

Während des gesamten Schmelzprozesses wurden an verschiedenen Orten im Umkreis der Anlage Messungen vorgenommen. An folgenden Stellen wurde gemessen:

- in der Nähe des Ofens;
- in der Nähe der Steuerungseinheit;
- in der Nähe der Versorgungskabel für die Steuerungseinheit;
- in der Nähe der Kabel, die von der Steuerungseinheit zum Ofen verlaufen;
- im Stand des Ofenführers.

8.4.2 Herstellungsanlage für Ferrotitan

Während des gesamten Schmelzprozesses wurden an verschiedenen Orten im Umkreis der Anlage Messungen vorgenommen. An folgenden Stellen wurde gemessen:

- in der Nähe der Öfen;
- in der Nähe der Steuerungseinheit für den variablen Induktionsstrom;
- in der Nähe der Versorgungskabel für die Steuerungseinheit;
- in der Nähe der Kabel, die von der Steuerungseinheit zum Ofen verlaufen;
- am Tisch des Anlagenführers.

8.4.3 Große elektrische Schmelzanlage

Die Messungen erfolgten an zahlreichen Stellen im Umkreis der Anlage bei laufendem Ofenbetrieb. An folgenden Stellen wurde gemessen:

- Standorte der Bediener während der Beschickung der Öfen auf der Bühne;
- Standorte der Bediener bei der Betätigung der Kippvorrichtungen für den Schmelztiegel;
- in der Nähe des Schmelztiegels während des Kippens;

- in den Kontrollräumen;
- in der Nähe der Steuerungseinheiten für den variablen Induktionsstrom;
- in der Nähe der Versorgungskabel für die Steuerungseinheiten;
- in der Nähe der Kabel, die von den Steuerungseinheiten zu den Öfen verlaufen;
- außerhalb der Transformatorenkäfige in den Kellern;
- unterhalb der Sammelschienen an den Stellen, an denen die Arbeitnehmer diesen am nächsten kommen können.

8.4.4 Lichtbogenofenanlage

Die Messungen erfolgten an zahlreichen Stellen im Umkreis der Anlage bei laufendem Ofenbetrieb. An folgenden Stellen wurde gemessen:

- an den Standorten der Bediener während der Beschickung der Öfen;
- in den Kontrollräumen;
- in der Nähe der Steuerungseinheiten;
- im Umkreis der Ofenfundamente dort, wo die Arbeitnehmer diesen am nächsten kommen können;
- unterhalb der Sammelschienen an den Stellen, an denen die Arbeitnehmer diesen am nächsten kommen können;
- im Umkreis der Transformatorenkäfige;
- an den Wegen um die Öfen.

8.4.5 AnalySELabor

Die Messungen erfolgten im Umkreis des Analysators bei laufendem Ofenbetrieb. Besondere Aufmerksamkeit galt dem Bereich um den Ofen und dem Bereich, in dem sich der Bediener während der laufenden Analyse aufhielt.

8.5 Ergebnisse der Expositionsbewertung

8.5.1 Anfängliche Expositionsbewertung

Die Ergebnisse der Expositionsmessungen wurden mit den hohen und niedrigen Auslöseschwellen und mit den in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerten verglichen. Wenn sich herausstellte, dass in einem Arbeitsbereich Auslöseschwellen überschritten wurden, wurde durch weitere Messungen ermittelt, in welchem Abstand die magnetische Flussdichte gleich 100 % der Auslöseschwelle war, um dann anhand der Wahrscheinlichkeit des Aufenthalts von Personen in dem Bereich, in dem die Auslöseschwelle überschritten wurde, über eine eingehendere Bewertung zu befinden. In Tabelle 8.1 sind die wichtigen Ergebnisse der anfänglichen Expositionsbewertung zusammengefasst.

Tabelle 8.1 – Zusammenfassung signifikanter Ergebnisse der anfänglichen Expositionsbewertung

Arbeitsbereich	Arbeitsmittel	Bereiche der stärksten Exposition und Grenze der Auslöseschwelle (sofern relevant)	Expositionsanteil (in Prozent)		
			Niedrige AL	Hohe AL	Referenzwert nach 1999/519/EG
Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen	Induktionsofen (2,42-2,6 kHz)	In 50 cm Abstand vom Rand des Ofengehäuses	190 % ⁽¹⁾	190 % ⁽¹⁾	3500 % ⁽²⁾
		In 80 cm Abstand vom Rand des Ofengehäuses	100 % ⁽¹⁾	100 % ⁽¹⁾	1800 % ⁽²⁾
Herstellungsanlage für Ferrotitan	Zwei Induktionsöfen (217-232 Hz)	Position des Rumpfs bei Standort in der Nähe der Steuerungseinheit für variablen Induktionsstrom	7,8 % ⁽³⁾	6,0 % ⁽⁴⁾	360 % ⁽⁵⁾
Große elektrische Schmelzanlage	Zehn Induktionsöfen (50 Hz)	Während des Kippens in 30 cm Abstand von den Schmelztiegelkabeln	40 % ⁽³⁾	6,7 % ⁽⁶⁾	400 % ⁽⁷⁾
Lichtbogenofenanlage	Zwei Lichtbogenöfen (50 Hz)	Position des Rumpfs bei Standort in größtmöglicher Nähe zum Fundament des Ofens	70 % ⁽³⁾	12 % ⁽⁶⁾	700 % ⁽⁷⁾
Analyselabor	Kohlenstoff- und Schwefelanalysator mit eingebautem Induktionsofen (18 MHz)	In 20 cm Abstand von der Oberfläche des Analysatorgehäuses	110 % ⁽⁸⁾		230 % ⁽⁹⁾
		In 22 cm Abstand von der Oberfläche des Analysatorgehäuses	100 % ⁽⁸⁾		220 % ⁽⁹⁾

⁽¹⁾ Hohe und niedrige Auslöseschwelle für magnetische Flussdichte bei einer Frequenz von 2,6 kHz: 115 μ T.

⁽²⁾ Referenzwert der Empfehlung 1999/519/EG des Rates bei einer Frequenz von 2,6 kHz: 6,25 μ T.

⁽³⁾ Niedrige Auslöseschwelle für magnetische Flussdichten im Frequenzbereich 25 Hz bis 300 Hz: 1000 μ T.

⁽⁴⁾ Hohe Auslöseschwelle für magnetische Flussdichte bei einer Frequenz von 230 Hz: 1300 μ T.

⁽⁵⁾ Referenzwert der Empfehlung 1999/519/EG des Rates bei einer Frequenz von 230 Hz: 21,7 μ T.

⁽⁶⁾ Hohe Auslöseschwelle für magnetische Flussdichte bei einer Frequenz von 50 Hz: 6000 μ T.

⁽⁷⁾ Referenzwert der Empfehlung 1999/519/EG des Rates bei einer Frequenz von 50 Hz: 100 μ T.

⁽⁸⁾ Auslöseschwelle für magnetische Flussdichte im Frequenzbereich 10 MHz bis 400 MHz: 0,2 μ T.

⁽⁹⁾ Referenzwert der Empfehlung 1999/519/EG des Rates für den Frequenzbereich 10 MHz bis 400 MHz: 0,092 μ T.

Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit ± 10 % angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Auslöseschwellen angegeben.

Die Ergebnisse der anfänglichen Expositionsbewertung brachten dem Unternehmen folgende Erkenntnisse:

- Im Falle des Induktionsofens der Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen wurden die hohen und niedrigen Auslöseschwellen bis zum Abstand von 80 cm überschritten, und dieser Bereich war für Arbeitnehmer während des Schmelzprozesses ohne Weiteres zugänglich.
- Im Falle des Kohlenstoff- und Schwefelanalysators im Analyselabor wurde die Auslöseschwelle im Abstand von bis zu 22 cm überschritten, doch während des laufenden Ofenbetriebs befanden sich die Arbeitnehmer mit keinem Teil ihres Körpers in diesem Bereich.
- Die Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG des Rates wurden in allen bewerteten Arbeitsbereichen an zugänglichen Stellen überschritten.

Da im Falle des Kohlenstoff- und Schwefelanalysators die Auslöseschwelle nur in einem kleinen Bereich überschritten wurde, war aufgrund der Betriebsweise des Analysators nicht zu erwarten, dass Arbeitnehmer über die Auslöseschwellen hinaus elektrischen und magnetischen Feldern ausgesetzt wurden.

Gestützt auf die Ergebnisse der anfänglichen Expositionsbewertung nahm der Berater eine eingehendere Bewertung des Induktionsofens vor, der sich in der Anlage zur Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen befand.

8.5.2 Eingehende Expositionsbewertung des Induktionsofens in der Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen

Im Rahmen seiner Expositionsbewertung beobachtete der Berater, wie der Ofen bedient wurde, um eine praktikable Lösung für das Problem zu finden.

An verschiedenen Stellen im Umkreis des Ofens wurde die magnetische Flussdichte gemessen. Aufgrund der Messergebnisse konnte festgestellt werden, entlang welcher Umrisslinien die Auslöseschwellen und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte erreicht wurden. Außerdem wurde durch Markierungen auf dem Boden angezeigt, in welchem Bereich die Auslöseschwellen überschritten wurden (Abbildung 8.3). In Tabelle 8.2 sind die signifikanten Ergebnisse der eingehenden Expositionsbewertung zusammengefasst. Abbildung 8.4 zeigt eine maßstabgerechte Zeichnung des Ofens sowie die Konturen, an denen entlang die Auslöseschwellen und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte erreicht werden.

Tabelle 8.2 – Zusammenfassung der signifikanten Ergebnisse der eingehenden Expositionsbewertung für den Induktionsofen in der Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen

Messort	Expositionsanteil (in Prozent)		
	Hohe und niedrige AL ⁽¹⁾	AL für die Exposition von Gliedmaßen ⁽²⁾	RL der Empfehlung 1999/519/EG des Rates ⁽³⁾
In 45 cm Abstand vom Rand des Ofengehäuses (Abstand für die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen)	300 %	100 %	5500 %
In 80 cm Abstand vom Rand des Ofengehäuses (Abstand für die Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen)	100 %	33 %	1800 %
In 300 cm Abstand vom Rand des Ofengehäuses (Abstand für den Referenzwert nach 1999/519/EG)	5,4 %	1,8 %	100 %
Position des Rumpfs bei Standort an der Steuerungseinheit	3,5 %	1,2 %	64 %
In 450 cm Abstand vom Rand des Ofengehäuses (Position des Rumpfes im Stand des Ofenführers)	2,0 %	0,67 %	37 %

⁽¹⁾ Hohe und niedrige Auslöseschwelle für magnetische Flussdichte bei einer Frequenz von 2,6 kHz: 115 µT.

⁽²⁾ Auslöseschwelle für die Exposition von Gliedmaßen für magnetische Flussdichte bei einer Frequenz von 2,6 kHz: 346 µT.

⁽³⁾ Referenzwert der Empfehlung 1999/519/EG des Rates bei einer Frequenz von 2,6 kHz: 6,25 µT.

Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit ± 10 % angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt in Prozent der Auslöseschwellen angegeben.

Abbildung 8.3 – Bodenmarkierungen für die Bereiche, in denen die hohen und niedrigen Auslöseschwellen überschritten wurden

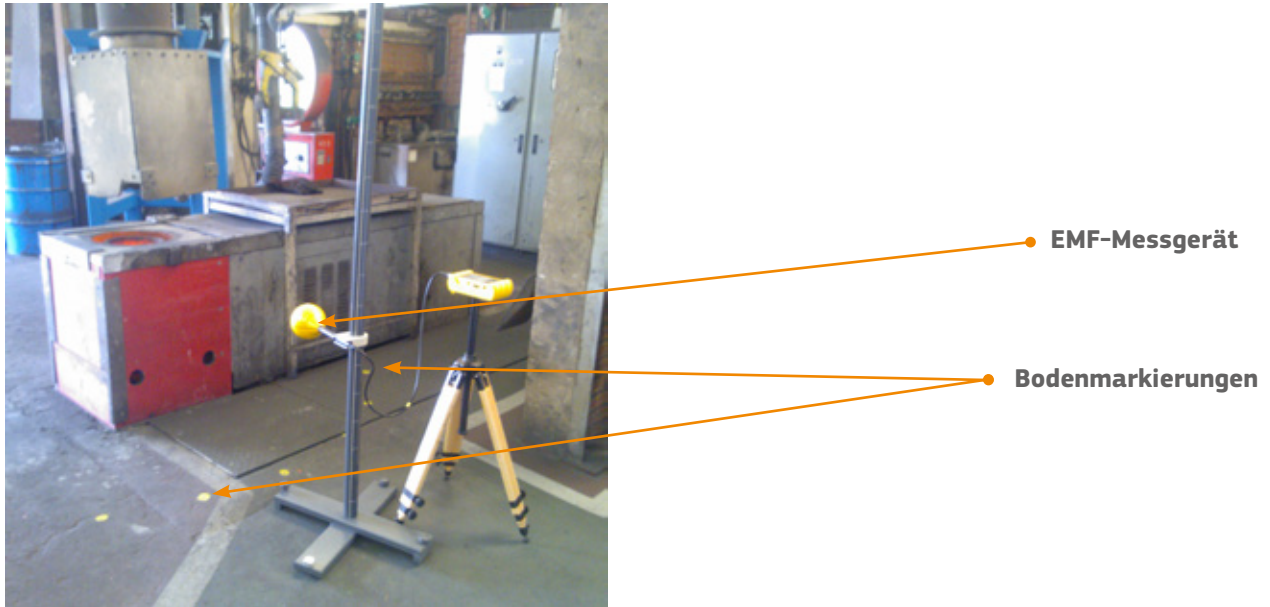
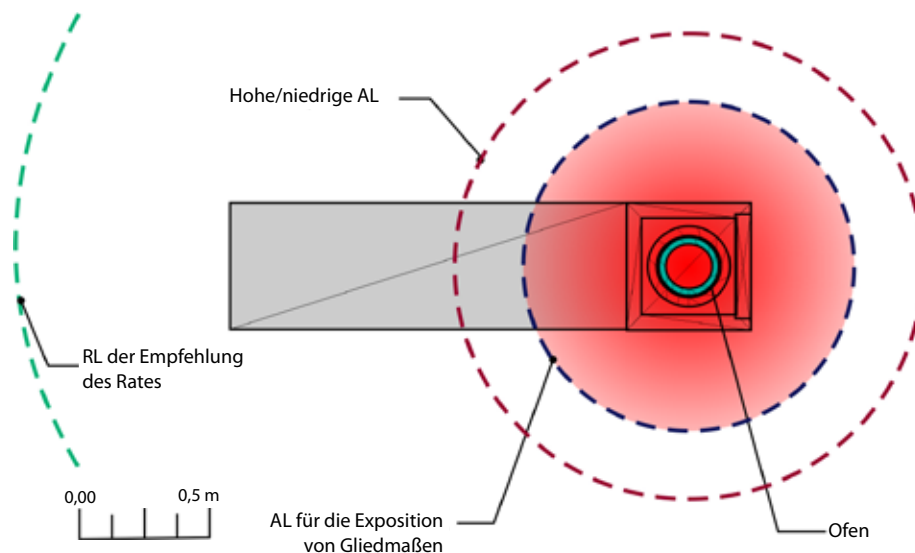


Abbildung 8.4 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die Auslöseschwellen und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte im Umkreis des Induktionsofens der Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen überschritten werden könnten



Die Konturen in Abbildung 8.4 verlaufen in konzentrischen Kreisen um die Ofenmitte. Die Beobachtungen hatten ergeben, dass der Bediener während des laufenden Ofenbetriebs die Umrisslinien für die hohe und niedrige Auslöseschwelle nicht übertreten musste, da alle Tätigkeiten, bei denen dieser Bereich betreten werden musste (Beschickung des Tiegels vor dem Schmelzprozess und seine Entleerung nach dessen Abschluss) bei ausgeschaltetem Ofen ausgeführt wurden (Abbildung 8.5). Zur Verhütung der Exposition gegenüber starken Magnetfeldern bot es sich daher an, den Zugang zu diesem Bereich zu beschränken. Die Absperrung des Ofens durch Barrieren war allerdings nicht ratsam, da dies die Arbeit behindern und das Risiko schwerer Unfälle beim Umgang mit den Schmelzriegeln erhöhen würde.

Abbildung 8.5 – Tätigkeiten in unmittelbarer Nähe des Ofens wurden bei abgeschaltetem Ofen ausgeführt



8.6 Risikobewertung

Gestützt auf die Expositionsbewertung des Beraters führte das Unternehmen für das Werksgelände eine Risikobewertung mit Bezug auf elektromagnetische Felder durch. Es folgte dabei der auf der OIRA (der Plattform der EU-OSHA für die interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung) empfohlenen Vorgehensweise. Die Risikobewertung führte zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Besonders gefährdete Arbeitnehmer können in jedem beliebigen Arbeitsbereich im Werk Gefahren ausgesetzt werden.
- Die Arbeitnehmer, einschließlich der besonders gefährdeten Arbeitnehmer, hatten in der Anlage zur Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen unbeschränkten Zugang zu einem Bereich, in dem die Auslöseschwellen überschritten wurden.

Das Unternehmen erstellte auf der Grundlage der Risikobewertung einen Aktionsplan und dokumentierte diesen.

Tabelle 8.3 zeigt ein Beispiel für die Bewertung von Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder.

Tabelle 8.3 – Risikobewertung mit Bezug auf elektromagnetische Felder für das Werksgelände des Metallurgieunternehmens

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad			Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen	
			Gering	Schwerwiegend Lebensgefährlich	Wahrscheinlichkeit			
				Unwahrscheinlich	Möglich	Wahrscheinlich		
Direkte Wirkungen von Magnetfeldern	Keine	Arbeitnehmer in der Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen	✓			✓	Mittel	Verhinderung des Zutritts zu Bereichen, in denen die Auslöseschwellen überschritten werden Anbringung geeigneter Warnhinweise in Arbeitsbereichen, in denen Auslöseschwellen überschritten werden
		Arbeitnehmer in anderen bewerteten Bereichen	✓		✓		Gering	Gezielte Warnungen im Zuge betrieblicher Sicherheitsunterweisungen für die Arbeitnehmer
		Besucher	✓			✓	Gering	Anbringung geeigneter Warnhinweise für Träger aktiver implantierter medizinischer Geräte an Zugängen zu anderen Arbeitsbereichen
		Besonders gefährdete Arbeitnehmer (einschließlich schwangere Arbeitnehmerinnen)		✓		✓		Mittel
Indirekte Auswirkungen von Magnetfeldern (Störung medizinischer Implantate)	Keine	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	✓		✓		Mittel	Siehe oben

8.7 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen

Der Zugang zu den Transformatoren und Sammelschienen, die mit den Geräten verbunden waren, war wegen des Risikos des elektrischen Schlags eingeschränkt worden, womit auch eine gewisse Zugangsbeschränkung für Bereiche mit potenziell starken Magnetfeldern gegeben war; doch Schutzmaßnahmen mit Bezug auf die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern hatte es vor der Expositionsbewertung des Beraters nicht gegeben.

Bemerkenswert war die Beobachtung, dass die Auslöseschwellen im Umkreis der großen Produktionsöfen und ihrer Steuerungseinheiten ungeachtet der erheblich höheren Energiezufuhr an keiner normal zugänglichen Stelle überschritten wurden. Der Grund dürfte darin liegen, dass der Zugang zu potenziell starken Magnetfeldern aufgrund der schieren Größe der Öfen überhaupt nicht möglich war. Die Bereiche, in denen die Auslöseschwellen überschritten werden konnten, befanden sich einfach deshalb im Umkreis kleinerer Geräte, weil bei diesen eine stärkere Annäherung möglich war.

8.8 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse

Gestützt auf die Ergebnisse der Expositionsbewertung konnte das Unternehmen Schutz- und Präventionsmaßnahmen einführen, um zu gewährleisten, dass die Arbeitnehmer, insbesondere die besonders gefährdeten, keiner EMF-Exposition in schädlicher Höhe ausgesetzt werden. Unmittelbar im Anschluss an die anfängliche Expositionsbewertung wurden einige zusätzliche Schutzmaßnahmen ergriffen. Folgende Maßnahmen wurden eingeführt:

- Trägern implantierter medizinischer Geräte wurde der Zutritt zu den betreffenden Arbeitsbereichen untersagt.
- Der Film, in dem das Unternehmen seine Maßnahmen für Sicherheit und Gesundheitsschutz vorstellt, wurde um eine Warnung vor starken Magnetfeldern und eine Warnung für Träger medizinischer Implantate ergänzt.
- An den Zugängen zu den betroffenen Bereichen wurden Warnhinweise mit den Piktogrammen für „Magnetfeld“ und „Kein Zutritt für Träger medizinischer Implantate“ samt geeigneten Aufschriften angebracht (Abbildung 8.6).

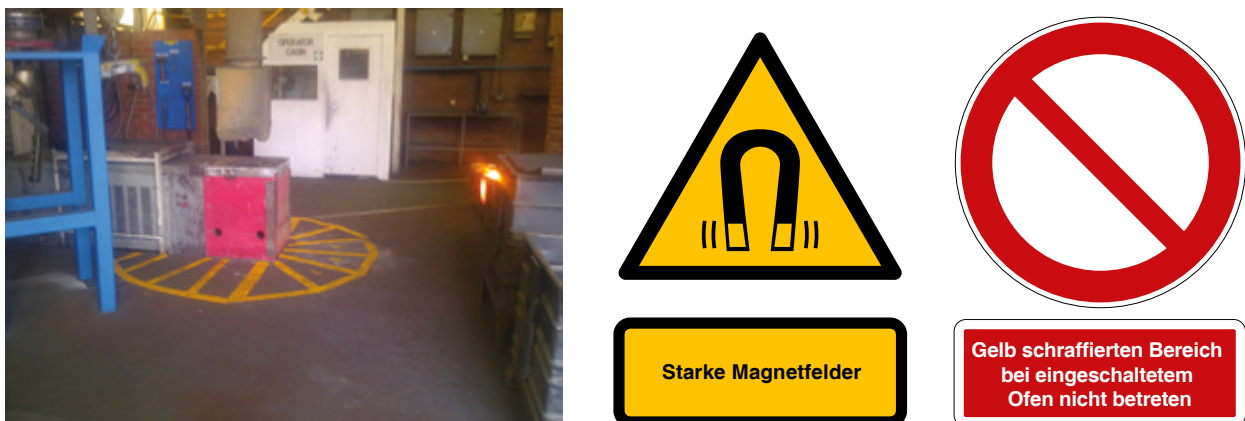
Im Anschluss an die eingehendere Expositionsbewertung wurden weitere Schutz- und Präventionsmaßnahmen eingeführt:

- In der Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen wurde der Bereich um den Induktionsofen, in dem die Auslöseschwellen überschritten wurden, auf dem Boden markiert (Abbildung 8.7), und die Arbeiter wurden angewiesen, diesen Bereich bei laufendem Ofenbetrieb nicht zu betreten.
- In der Nähe des Induktionsofens wurden ein Warnzeichen mit dem Piktogramm für „starkes Magnetfeld“ und ein Zutrittsverbotsschild mit geeigneter Beschriftung (Abbildung 8.7) angebracht.

Abbildung 8.6 – Beispiel für einen Warnhinweis am Zugang zu bestimmten Arbeitsbereichen



Abbildung 8.7 – Bodenmarkierungen und dazugehöriger Warnhinweis zur Kennzeichnung des Bereichs, in dem die Auslöseschwellen überschritten werden könnten



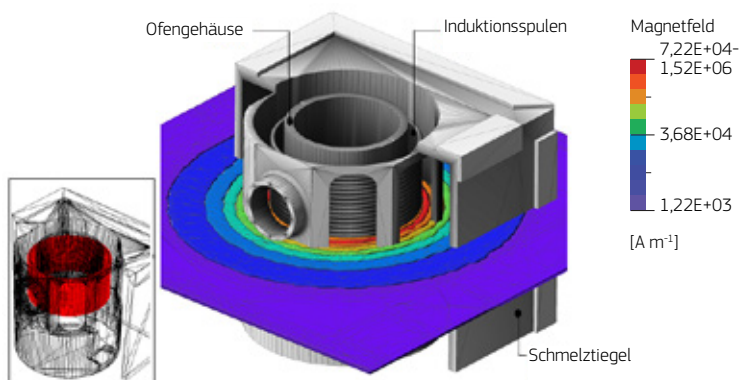
8.9 Weiterführende Informationsquellen

Der Vollständigkeit halber beauftragte das Unternehmen einen Experten mit der Erstellung eines computergestützten Modells, aus dem hervorgehen sollte, welcher Exposition im Verhältnis zu den Expositionsgrenzwerten ein Arbeitnehmer ausgesetzt wäre, der sich bei laufendem Ofenbetrieb in dem gelb schraffierten Bereich der Anlage für die Herstellung von Legierungen in kleinen Mengen aufhalten würde.

Mithilfe dieses Modells wurde bewertet, welche internen elektrischen Felder im Körper eines Bedieners, der sich bei laufendem Betrieb in nächster Nähe zum Ofen aufhielte, induziert würden. Die Parameter des Modells wurden so eingestellt, dass sich für die magnetische Feldstärke ähnliche Werte ergaben, wie sie während der Messungen im Zuge der Expositionsbewertung ermittelt worden waren.

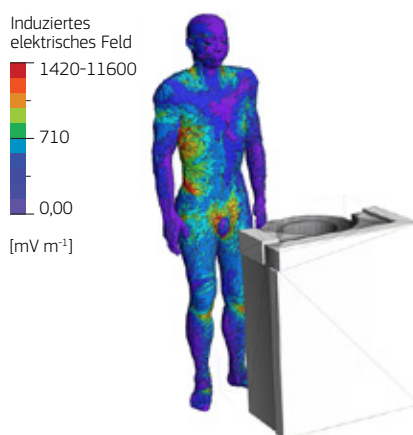
Abbildung 8.8 zeigt die räumliche Verteilung des Magnetfelds in der X-Y-Ebene im Umkreis des Induktionsofens, die sich aus dem Modell ergibt. Die berechneten Feldwerte entsprachen weitgehend den bei der Expositionsbewertung gemessenen Werten und wiesen ebenfalls darauf hin, dass die magnetischen Feldstärken in der Nähe der Induktionsspule des Ofens zwar verhältnismäßig hoch waren, mit zunehmendem Abstand aber sehr rasch abfielen.

Abbildung 8.8 – Mithilfe des Modells berechnete räumliche Verteilung des Magnetfelds in der X-Y-Ebene um ein Schnittbild des Induktionsofens. Die Induktionsspule ist rot gekennzeichnet (Ausschnitt).



Die im Körper eines Arbeitnehmers induzierten internen elektrischen Felder wurden für einen Standort in 65 cm Abstand von der Mitte des Induktionsofens berechnet. Abbildung 8.9 zeigt die Verteilung des induzierten elektrischen Felds in einem Menschmodell. Der Höchstwert für die elektrische Feldstärke, der bei dieser Expositionssituation im Körper auftrat, betrug 916 mV m^{-1} (in Knochengewebe). Dies entsprach 83 % des Expositionsgrenzwerts für gesundheitliche Wirkungen bei einer Frequenz von 2,43 kHz.

Abbildung 8.9 – Räumliche Verteilung der durch Exposition gegenüber dem Induktionsofen im Menschmodell maximal induzierten internen elektrischen Felder

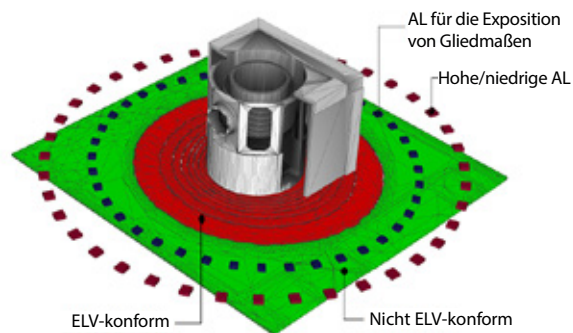


Anhand simulierter Expositionssituationen mit unterschiedlichen Abständen des Menschmodells vom Ofen konnte definiert werden, in welchem Bereich der Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen infolge der Exposition gegenüber dem Induktionsofen überschritten werden könnte.

Dabei ergab sich, dass der Expositionsgrenzwert nur überschritten würde, wenn sich der menschliche Körper innerhalb eines Radius von ca. 60 cm um die Mitte des laufenden Ofens befände. Dieser Bereich ist in Abbildung 8.10 rot eingefärbt. Außerdem werden die Bereiche gezeigt, in denen die Auslöseschwellen überschritten werden könnten (Abbildung 8.4).

Da das Gehäuse, in dem der Ofen untergebracht war, ungefähr 63 cm x 63 cm maß (also 31,5 cm von der Mitte des Ofens entfernt war), müsste sich ein Arbeitnehmer, um die Expositionsgrenzwerte zu überschreiten, in so großer Nähe dazu aufhalten, dass dieses Szenario als unwahrscheinlich eingeschätzt wurde. Daher vertraute das Unternehmen darauf, dass die Bodenmarkierungen als Präventionsmaßnahme ausreichend waren.

Abbildung 8.10 – Konturen im Umkreis des Induktionsofens für die Bereiche, in denen der Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen überschritten werden könnte (rot eingefärbter Bereich). Gezeigt werden außerdem die Bereiche, in denen der Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen nicht überschritten wird (der grüne Bereich und darüber hinaus), und der Bereich, in dem die Auslöseschwellen überschritten werden könnten (blau und rot gestrichelt).



9 HOCHFREQUENZPLASMAGERÄTE

Hochfrequenzplasmageräte werden für gewöhnlich bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen, der Fertigung integrierter Schaltkreise, verwendet. In anderen Branchen werden sie darüber hinaus für die Reinigung optischer Bauteile, für spektroskopische Anwendungen und zu Forschungszwecken benutzt. Die vorliegende Fallstudie bezieht sich auf Hochfrequenzplasmageräte, die bei der Herstellung von Halbleiterscheiben in einem Reinraum verwendet werden. Der Arbeitgeber machte sich Sorgen, dass ein Arbeitnehmer, dem ein Herzschrittmacher eingesetzt worden war und der in Kürze an seinen Arbeitsplatz zurückkehren wollte, gefährdet sein könnte. Der Hersteller des Herzschrittmachers übermittelte dem Arbeitgeber genaue Angaben über die sicheren Grenzwerte elektromagnetischer Felder, denen der Schrittmacher ausgesetzt werden durfte.

9.1 Art der Arbeit

Der Träger des Herzschrittmachers besuchte normalerweise Hochfrequenzplasmageräte mit Halbleiterscheiben und bediente diese Geräte (Abbildung 9.1).

Abbildung 9.1 – Ladebereich für Halbleiterscheiben



Abbildung 9.2 – Reaktionskammern im Wartungsbereich



9.2 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen

Die Hochfrequenzplasmageräte in dieser Arbeitsstätte bestehen in der Regel aus einer Hochfrequenzquelle und einer evakuierten Reaktionskammer (Abbildung 9.2). In einige Geräte auf dem Gelände sind mehrere Hochfrequenzquellen und/oder mehrere Reaktionskammern eingebaut. Mithilfe des erzeugten Hochfrequenzfelds wird eine Plasmaentladung hervorgerufen und aufrechterhalten, die dann für Prozesse wie das Ätzen, Beschichten und Entschichten der Halbleiterscheibe innerhalb der Kammer benutzt wird. Die erzeugten Hochfrequenzen können von wenigen Hundert kHz bis zu einigen GHz reichen. Gebräuchlich sind die Frequenzen 400 kHz, 13,56 MHz und 2,45 GHz.

Bei der vorliegenden Geräteart wird das Hochfrequenzfeld für gewöhnlich durch ein Gerätegehäuse und eine metallische Reaktionskammer abgeschirmt. Wenn das Gehäuse undichte Stellen aufweist, beispielsweise durch nicht passgenau oder nicht ordnungsgemäß eingesetzte Platten, fehlende Schrauben, falsche Kabelstecker oder beschädigte flexible Wellenleiter, können hochfrequente Felder austreten. Lecks in der Reaktionskammer oder den Wellenleitern machen sich für gewöhnlich durch einen Vakuumverlust bemerkbar. Einige Kammern verfügen über Sichtfenster mit Schutzschilden (Faraday-Schilden), sodass fehlende oder beschädigte Schilde zum Austritt hochfrequenter Felder führen können.

Im Inneren einiger Geräte befinden sich außerdem starke Magnete, die statische Magnetfelder erzeugen.

9.3 Verwendung der Anlage

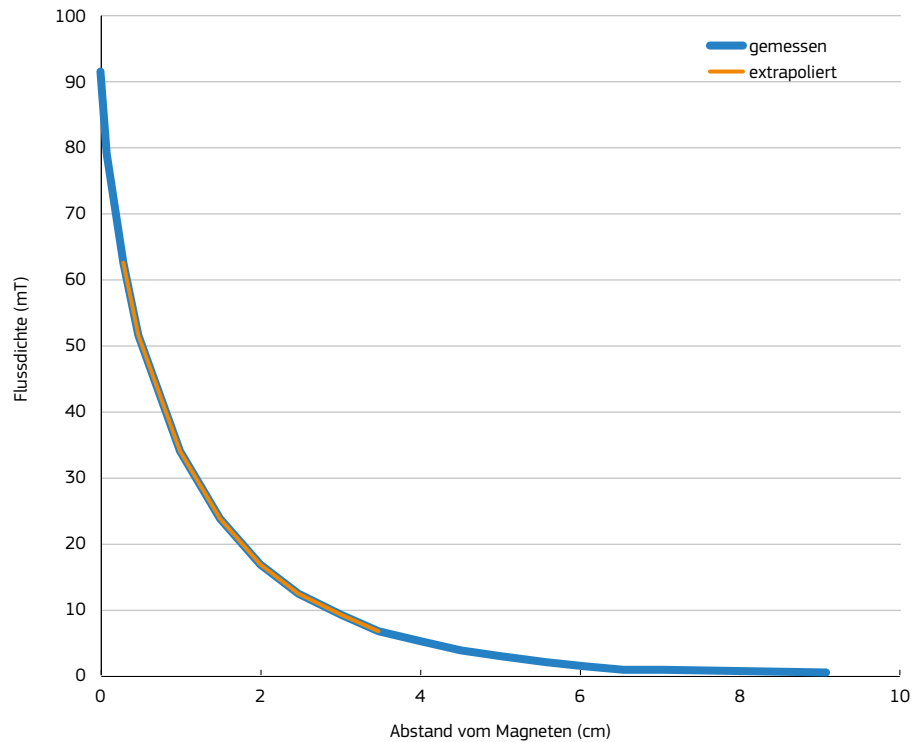
Der Träger des Herzschrittmachers wird sich normalerweise nur im Produktionsbereich des Reinraums aufhalten, in dem die Geräte bedient und mit den Halbleiterscheiben beschickt werden. Die Reaktionskammern und die Hochfrequenzplasmageneratoren, die mit den einzelnen Geräten verbunden sind, befinden sich im Wartungsbereich. Der Arbeitnehmer kann den Wartungsbereich zwar betreten, ist aber nicht mit der Pflege oder Wartung der Geräte befasst.

9.4 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung

Eine Möglichkeit bestand darin, die elektromagnetischen Felder im Umkreis dieser Geräte zu messen. Dies setzte allerdings die Beauftragung eines Fachberaters voraus, der Spezialinstrumente verwendet. Aufgrund der unterschiedlichen Frequenzen müssten mehrere Messinstrumente zum Einsatz kommen. Außerdem müssten die Messungen für die Felder im Zwischenfrequenzbereich (z. B. 400 kHz und 13,56 MHz) im „Nahfeld“ vorgenommen werden. Die elektrischen und die magnetischen Felder müssten getrennt gemessen werden. Bei höheren Frequenzen (2,45 GHz) erfolgen die Messungen im Allgemeinen im „Fernfeld“. In dieser Situation breiten sich die elektrischen und magnetischen Felder als elektromagnetische Welle aus, sodass es eher üblich ist, nur das elektrische Feld zu messen. Da beide Felder zusammenhängen, kann das magnetische Feld abgeleitet werden.

Als ersten Schritt zur Expositionsbewertung bat der Arbeitgeber den Hersteller der Hochfrequenzplasmageräte um Angaben darüber, inwieweit Hochfrequenzfelder (HF-Felder) aus den Geräten austreten könnten und bis zu welchem Abstand dies eine Gefahr darstellen würde.

Einer der Hersteller stellte ein Schaubild (Abbildung 9.3) bereit, um zu verdeutlichen, wie die Stärke des statischen Magnetfelds mit zunehmendem Abstand von den starken Magneten innerhalb der Geräte abfiel, und teilte dem Arbeitgeber mit, dass die Flussdichte im Abstand von 10 cm von den Magneten auf weniger als 0,5 mT sinkt.

Abbildung 9.3 – Schaubild für das Abfallen der magnetischen Flussdichte mit zunehmendem Abstand

Der Hersteller des Herzschrittmachers übermittelte die sicheren Grenzwerte für verschiedene Quellen elektromagnetischer Störungen (Tabelle 9.1). Der Arbeitgeber stellte fest, dass die Werte für die statischen Magnetfelder in Gauß angegeben waren und gemäß der EMF-Richtlinie in Millitesla umgerechnet werden mussten.

Tabelle 9.1 – Herstellerangaben über sichere Grenzwerte für den Herzschrittmacher (spezifische Grenzwerte für das Schrittmachermodell, das dem Arbeitnehmer eingesetzt worden war)

Quelle der elektromagnetischen Störung	Grenzwert für die elektromagnetische Feldstärke (Effektivwert)
Stromfrequenz (50/60 Hz)	10 000 V/m (6000 V/m; außerhalb der vorgesehenen Einstellungen)
Hochfrequente Felder (150 kHz und mehr)	141 V/m
Statische Magnetfelder (Gleichstrom)	10 Gauß
Modulierte Magnetfelder	80 A/m bei bis zu 10 kHz und 1 A/m bei mehr als 10 kHz

Da der Arbeitgeber vom Hersteller keine Angaben über Hochfrequenzfelder erhalten konnte, beschloss er, einen Berater mit einigen Messungen im Umkreis ausgewählter Hochfrequenzplasmageräte zu beauftragen.

9.5 Ergebnisse der Expositionsbewertung

Der Arbeitgeber rechnete die vom Hersteller des Herzschrittmachers übermittelten Grenzwerte (Tabelle 9.1) in die in der EMF-Richtlinie verwendeten Einheiten um (Tabelle 9.2). Ein Vergleich der Messergebnisse mit diesen Grenzwerten ergab, dass die Grenzwerte für den Herzschrittmacher im Umkreis des Hochfrequenzplasmaätzers nicht überschritten wurden.

Tabelle 9.2 – Grenzwerte für den Herzschrittmacher (vom Hersteller übermittelte Angaben)

Frequenz	Grenzwert
Elektrische Felder, 150 kHz und mehr	141 Vm ⁻¹
Statische Magnetfelder (Gleichstrom)	1 mT
Magnetfelder mit mehr als 10 kHz	1,25 µT

Die Messergebnisse werden unten in Tabellen im Einzelnen aufgeführt. Tabelle 9.3 zeigt die Messergebnisse im Umkreis eines Hochfrequenzplasmaätzers mit einer Betriebsfrequenz von 400 kHz. Die Messungen wurden auf allen Seiten des Geräts vorgenommen, wobei die stärksten elektrischen und magnetischen Felder an den Fugen des Gehäuses um den Hochfrequenzgenerator auftraten. Wie aus den Messergebnissen hervorgeht, wurden die Auslöseschwellen der EMF-Richtlinie nicht überschritten.

Tabelle 9.3 – Messergebnisse im Umkreis des Hochfrequenzplasmaätzers

Position	Frequenz	Magnetische Flussdichte (µT)	Auslöseschwelle (µT)	Elektrische Feldstärke (Vm ⁻¹)	Auslöseschwelle (Vm ⁻¹)
Gehäuse des Hochfrequenzgenerators	400 kHz	0,05	5	0,06	610

Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit ± 2,7 dB angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt mit den Auslöseschwellen verglichen.

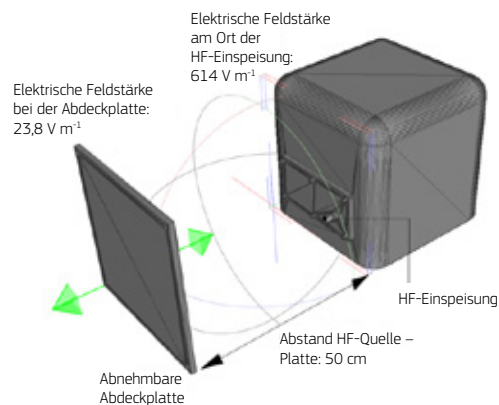
Tabelle 9.4 gibt die Messergebnisse im Umkreis einer PVD-Beschichtungsanlage (physikalische Gasphasenabscheidung) mit einer Betriebsfrequenz von 13,56 MHz wieder. Wie aus den Messergebnissen hervorgeht, wurden die Auslöseschwellen der EMF-Richtlinie und die in Tabelle 9.2 aufgeführten Grenzwerte für den Herzschrittmacher in der Nähe der HF-Einspeisung in die PVD-Kammer überschritten. Abbildung 9.4 zeigt die beiden letztgenannten Messorte.

Tabelle 9.4 – Messergebnisse im Umkreis der PVD-Einheit

Position	Frequenz des Generators	Magnetische Flussdichte (μT)	Auslöseschwelle (μT)	Elektrische Feldstärke (V m^{-1})	Auslöseschwelle (V m^{-1})
Oberseite der Kammer	13,56 MHz	0,04	0,2	10	61
Unterhalb der Kammer, in der Nähe der HF-Einspeisung	13,56 MHz	2	0,2	614	61
Position der abnehmbaren Abdeckplatte in 0,5 m Abstand von der HF-Einspeisung	13,56 MHz	0,08	0,2	24	61

Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 2,7$ dB angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt mit den Auslöseschwellen verglichen.

Abbildung 9.4 – Messorte in der Nähe der HF-Einspeisung in die PVD-Einheit



9.6 Risikobewertung

Im Hinblick auf die statischen Magnetfelder im Umkreis der Magnete wurde festgestellt, dass die Auslöseschwelle von 0,5 mT für die Exposition von Trägern aktiver implantierter medizinischer Geräte bis zu einem Abstand von 10 cm von den Magneten überschritten werden könnte. Allerdings hatte der Hersteller dem Arbeitgeber für den betreffenden Herzschrittmacher den weniger strengen Grenzwert von 1 mT (Tabelle 9.2) übermittelt. Daher zog der Arbeitgeber bei der Risikobewertung diesen Grenzwert heran. Gestützt auf das Schaubild, das der Hersteller des HF-Plasmagenerators übermittelt hatte (Abbildung 9.3), konnte der Grenzwert für den Herzschrittmacher in Höhe von 1 mT bei einem Abstand zu den Magneten von weniger als 10 cm (Schätzungen zufolge bei 6 cm) überschritten werden.

Im Hinblick auf hochfrequente elektromagnetische Felder wurde festgestellt, dass sowohl die vom Hersteller des Herzschrittmachers genannten Grenzwerte als auch die Auslöseschwellen in der Nähe der HF-Einspeisung in die PVD-Kammer überschritten werden konnten. In 0,5 m Abstand von der HF-Einspeisung fielen die Messwerte unter die Grenzwerte für den Herzschrittmacher und unter die Auslöseschwellen.

Für statische Magnetfelder und für hochfrequente Felder sank die Feldstärke über eine kurze Distanz hinweg unter die Grenzwerte für den Herzschrittmacher und unter die Auslöseschwellen.

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse nahm der Arbeitgeber mithilfe der Methodik, die auf der OiRA (der Plattform der EU-OSHA für die interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung) empfohlen wurde, eine Risikobewertung mit Bezug auf elektromagnetische Felder (Tabelle 9.5) vor, um festzustellen, welche Gefahren dem Träger des Herzschrittmachers und anderen Arbeitnehmern drohten.

Das Ergebnis dieser Risikobewertung ließ den Arbeitgeber zu dem Schluss kommen, dass die Arbeitsaufgaben des Herzschrittmacherträgers nicht geändert werden mussten; da er keine Wartungsarbeiten an den Geräten ausführte, hatte er keine Veranlassung, sich in Bereichen (in unmittelbarer Nähe der Geräte) aufzuhalten, in denen die Grenzwerte für den Herzschrittmacher überschritten werden könnten. Eine Zugangsbeschränkung zum Wartungsbereich wurde nicht für erforderlich erachtet, da die hohen Feldstärken auf sehr kleine Bereiche begrenzt waren. Dennoch ging aus der Risikobewertung hervor, dass auf andere Arbeitnehmer (z. B. Wartungstechniker), die aktive implantierte medizinische Geräte trugen, geachtet werden sollte.

9.7 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen

Im Zuge einer Inspektion der Anlagen und Überprüfung der Verfahrensweisen des Unternehmens stellte der Arbeitgeber fest, dass folgende Schutzmaßnahmen bereits vorhanden waren:

- Die HF-Einspeisung in die Kammern war abgedeckt, um den Zugang zu diesen Bereichen zu verhindern (für die Messungen an der PVD-Einheit war die Abdeckung abgenommen worden).
- Das Unternehmen stellt sicher, dass nur gut konstruierte Geräte beschafft werden. Beispielsweise müssen Sichtfenster angemessen gegen hochfrequente Felder abgeschirmt sein.

Tabelle 9.5 – Bewertung der Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder für Hochfrequenzplasmageräte

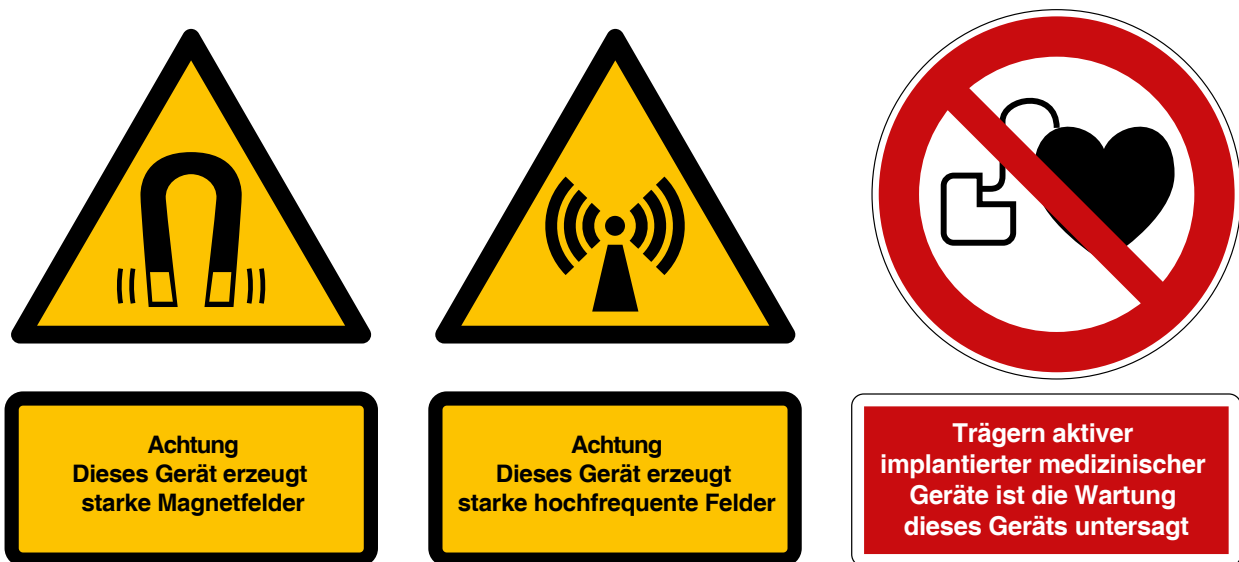
Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad		Wahrscheinlichkeit		Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen
			Gering	Schwerwiegend Lebensgefährlich	Unwahrscheinlich	Möglich Wahrscheinlich		
Direkte Wirkungen des EMF In der Nähe der HF-Einspeisung könnten die Auslöseschwellen im Wartungsbereich überschritten werden	Abdeckung der PVD-Einheit zwecks Verhinderung des Zugangs zu dem Bereich, in dem die Auslöseschwelle überschritten wird	Bediener Wartungstechniker	✓		✓		Gering	Unterrichtung und Unterweisung der Wartungstechniker und der Bediener Anbringung geeigneter Warnhinweise auf den Geräten
Indirekte Auswirkungen des EMF (Auswirkung auf aktive implantierte medizinische Geräte) In der Nähe der statischen Magneten und in der Nähe der HF-Einspeisung könnten im Wartungsbereich die Auslöseschwellen überschritten werden	Abdeckung der PVD-Einheit zwecks Verhinderung des Zugangs zu dem Bereich, in dem die Grenzwerte für den Herzschrittmacher überschritten werden Die Felder im Umkreis der statischen Magneten, in denen die Grenzwerte für den Herzschrittmacher überschritten werden, sind örtlich sehr begrenzt	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	✓		✓		Gering	Alle Arbeitnehmer werden über diese Gefahr unterrichtet Die Sicherheitsinformationen des Unternehmens werden um Warnungen ergänzt Das Gerät wird mit geeigneten Warn- und Verbotshinweisen versehen

9.8 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse

Auf der Grundlage der Risikobewertung beschloss der Arbeitgeber die Einführung folgender Schutzmaßnahmen:

- Anbringung von Warnhinweisen für starke Magnetfelder bzw. starke hochfrequente Felder sowie von Verbotssymbolen für Träger aktiver implantierter medizinischer Geräte auf Geräten, die mit starken Magneten ausgestattet sind, und auf den abnehmbaren Abdeckungen vor Bereichen mit potenziell starken hochfrequenten Feldern (Abbildung 9.5).

Abbildung 9.5 – Beispiele für Warnhinweise für starke Magnetfelder und starke hochfrequente Felder und für ein Verbotssymbol für Träger aktiver implantierter medizinischer Geräte



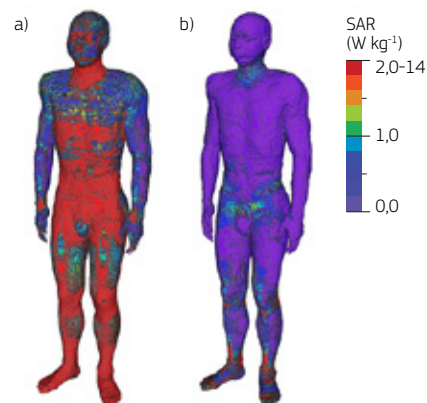
- Der Träger des Herzschrittmachers und der arbeitsmedizinische Dienstleister des Unternehmens werden über die Ergebnisse der Risikobewertung unterrichtet.
- Durch geeignete Einführungsprogramme und in Zusammenarbeit mit Auftragnehmern wird gewährleistet, dass sich andere Arbeitnehmer und Besucher über die Risiken bewusst sind.
- Die Arbeitnehmer werden zuverlässig davon in Kenntnis gesetzt, dass die Geräte nicht bei abgenommener Abdeckplatte betrieben werden dürfen und dass jegliche Schäden an Gehäuse, Wellenleiter oder abgeschirmten Sichtfenstern einem Vorgesetzten gemeldet werden müssen.

9.9 Weitere Informationen

Die Messergebnisse dienten als Grundlage für eine computergestützte Modellierung der Exposition eines Arbeitnehmers im Verhältnis zu den Expositionsgrenzwerten der EMF-Richtlinie (Abbildung 9.6). Die Modellierung ergab, dass die Expositionsgrenzwerte in der Nähe der HF-Einspeisung überschritten werden konnten; die mittlere Ganzkörper-SAR betrug 211 % des Expositionsgrenzwerts für die Ganzkörper-Wärmebelastung, und der lokale SAR-Spitzenwert, gemittelt über 10 g einer zusammenhängenden Gewebemasse in den Gliedmaßen, betrug 147 % des Expositionsgrenzwerts für die Wärmebelastung in Gliedmaßen. Der Expositionsgrenzwert für die lokale Wärmebelastung in Kopf und Rumpf wurde nicht überschritten, der lokale SAR-Spitzenwert, gemittelt über 10 g einer zusammenhängenden Gewebemasse in Kopf und Rumpf, betrug 89 % des Expositionsgrenzwerts für lokale Wärmebelastung in Kopf und Rumpf.

In 0,5 m Abstand von der HF-Einspeisung wurde eine unterhalb der Auslöseschwelle liegende elektrische Feldstärke gemessen, sodass die Modellierung erwartungsgemäß ergab, dass die Ganzkörper- und die lokalen SAR-Werte weitaus niedriger waren als die Expositionsgrenzwerte (unter 0,5 %).

Abbildung 9.6 – SAR-Verteilung im Körper eines Arbeitnehmers a) im Umkreis der HF-Einspeisung und b) im Umkreis der abnehmbaren Abdeckplatte in 50 cm Abstand vom Hochfrequenzgenerator



10 DACHANTENNEN

10.1 Arbeitsstätte

Gebäudedächer dienen häufig als zweckmäßige Aufstellungsorte für Telekommunikationsantennen unterschiedlicher Art, da der erhöhte Standort und eine gute Sichtverbindung ihre Funktion begünstigen. Diese Fallstudie bezieht sich auf ein solches Gebäude (Abbildung 10.1), das vor kurzem den Besitzer gewechselt hatte. Der neue Hausbesitzer war bestrebt, seinen gesetzlichen Auflagen nachzukommen und alle Risiken zu bewerten, die auf dem Dach tätigen Arbeitnehmern drohten.

Abbildung 10.1 – Mobilfunksektorantenne und Parabolantenne auf dem Dach des Aufzugsschachts



10.2 Art der Arbeit

Bei verschiedenen Inspektions- und Wartungsarbeiten müssen Arbeitnehmer das Dach betreten. Hierzu zählen beispielsweise Fensterreiniger, Dachdecker, Klimatechniker, Versicherungsinspektoren und Antennenmonteure. Während die beiden letztgenannten Gruppen womöglich umfassende Sicherheitsunterweisungen für den Umgang mit hochfrequenter Strahlung erhalten haben und durch persönliche Schutzausrüstung vor überhöhter Exposition gewarnt werden, dürften die erstgenannten Gruppen keine Unterweisung erhalten haben und entsprechend wenig über die Probleme wissen.

Ein bewährtes Verfahren der Antennenbetreiber besteht darin, von vornherein einen sicheren Aufstellungsort zu wählen. Dabei werden die Antennen so montiert, dass Arbeitnehmer, die in normaler Höhe auf dem Dach stehen, nicht unbeabsichtigt in die Sperrzone einer Antenne geraten können. Die Sperrzone einer Antenne ist der Nahbereich der Antenne, in

dem die Exposition die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschreiten könnte.

Die Sperrzone einer Antenne sollte für Arbeitnehmer nur mit Steighilfen wie Leitern oder Gerüsten erreichbar sein. Wenn Arbeitnehmer Zugang zu einer Sperrzone benötigen, muss die Antenne möglicherweise abgeschaltet werden. Wenn es unvermeidlich ist, dass die Sperrzone der Antenne in den begehbaren Bereich des Daches hineinreicht, sollte dieser Dachbereich durch Markierungen abgegrenzt werden.

10.3 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen

Bei den auf dem Dach aufgestellten Antennen handelte es sich um gängige Antennen für Mobilfunksysteme, d. h. um Mobilfunkbasisstationen und ein Pager-System. Zusätzlich zu Sektorantennen war die Mobilfunkbasisstation auch mit einer Antenne für Punkt-zu-Punkt-Datenverbindungen ausgestattet. Der Hausbesitzer wusste, dass die unterschiedlichen Antennenarten verschiedene Gefahrengrade mit sich brachten, die sich grob folgendermaßen unterteilen ließen:

- Mobilfunksektorantennen (800-2600 MHz) können in Vorwärtsrichtung bis zu einem Abstand von einigen Metern eine Gefahr darstellen, nach den Seiten und nach hinten hin gilt dies in geringerem Maße (Abbildung 10.2).
- Parabolantennen (10-30 GHz) an Mobilfunkbasisstationen stellen in der Regel keine signifikante Gefahr dar.
- Von Dipol- und Kollinearantennen (80-400 MHz) kann im Umkreis von ein bis zwei Metern eine Gefahr ausgehen.

Letzteres wird durch eine Computermodellierung für eine Halbwellendipolantenne mit einer Betriebsfrequenz von 400 MHz verdeutlicht (Abbildung 10.3). Wie aus Tabelle 10.1 hervorgeht, werden mit der Erhöhung der abgestrahlten Leistung von 25 W erst auf 100 W und dann auf 400 W die Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen in zunehmenden Abständen von der Antenne überschritten.

Abbildung 10.2 – Verteilung der spezifischen Energieabsorptionsrate (SAR) in einem Arbeitnehmer, der bei laufender Übertragung neben einer Mobilfunksektorantenne steht

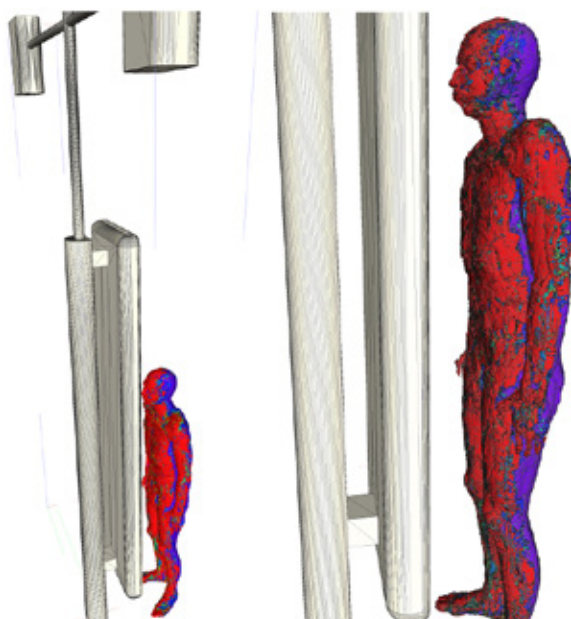


Abbildung 10.3 – Verteilung der spezifischen Energieabsorptionsrate im Menschmodell bei einer Exposition gegenüber einer Halbwellendipolantenne mit einer Leistung von 25 W in 20 cm Abstand vom Rumpf. Ausschnitt: in 1 cm Abstand vom Rumpf. In beiden Fällen liegen die berechneten SAR-Werte unterhalb der jeweiligen Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen

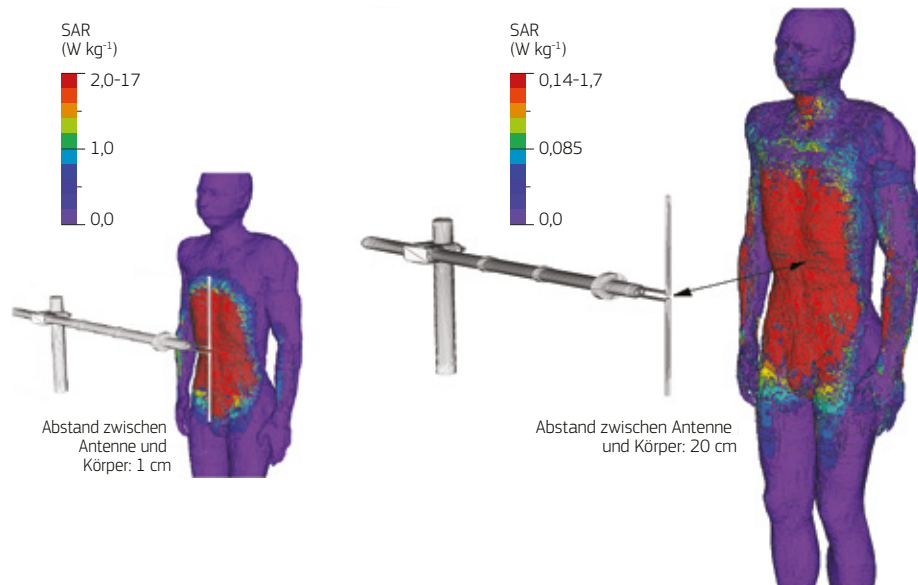


Tabelle 10.1 – Computermodierte Werte der Ganzkörper-SAR (Whole Body SAR, WBSAR), gemittelt über 10 g einer zusammenhängenden Gewebemasse (SAR_{10g cont}) für Halbwellendipolantennen mit einer Leistung von 5 W, 100 W und 400 W. Die SAR-Werte, bei denen die entsprechenden Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen überschritten werden, sind in roter Schrift wiedergegeben.

Abstand (cm)	Modellierte SAR (Wkg ⁻¹)							
	5-W-Antenne		25-W-Antenne		100-W-Antenne		400-W-Antenne	
	WBSAR	SAR _{10g cont}	WBSAR	SAR _{10g cont}	WBSAR	SAR _{10g cont}	WBSAR	SAR _{10g cont}
0,1	0,0225	1,61	0,113	8,05	0,450	32,2	1,80	129
1	0,0194	1,28	0,0968	6,38	0,387	25,5	1,55	102
2	0,0168	1,04	0,0840	5,18	0,336	20,7	1,34	82,8
4	0,0133	0,715	0,0663	3,58	0,265	14,3	1,06	57,2
6	0,0110	0,525	0,0548	2,63	0,219	10,5	0,876	42,0
8	0,00945	0,406	0,0473	2,03	0,189	8,12	0,756	32,5
10	0,00845	0,332	0,0423	1,66	0,169	6,63	0,676	26,5
12	0,00770	0,272	0,0385	1,36	0,154	5,44	0,616	21,8
14	0,00725	0,234	0,0363	1,17	0,145	4,68	0,580	18,7
16	0,00690	0,208	0,0345	1,04	0,138	4,16	0,552	16,6
18	0,00670	0,163	0,0335	0,815	0,134	3,26	0,536	13,0
20	0,00660	0,177	0,0330	0,883	0,132	3,53	0,528	14,1

Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen im Frequenzbereich 100 kHz bis 6 GHz für gemittelte Ganzkörper-SAR: 0,4 Wkg⁻¹ und für lokale SAR im Kopf und Rumpf, gemittelt über 10 g zusammenhängendes Körpergewebe: 10 Wkg⁻¹

10.4 Verwendung der Anlage

Die automatisierte Anlage wird von den Betreibern ferngesteuert. Die Mobilfunkbasisstation passt ihre Sendeleistung im Rahmen der in den Frequenzgenehmigungsbedingungen festgelegten Höchstleistung an das zu übermittelnde Kommunikationsaufkommen an. Daher ist es für den Hausbesitzer schwierig, die tatsächliche Leistung zu einem gegebenen Zeitpunkt vorherzusagen. Auch die Sendefrequenzen sind in den Frequenzgenehmigungsbedingungen niedergelegt.

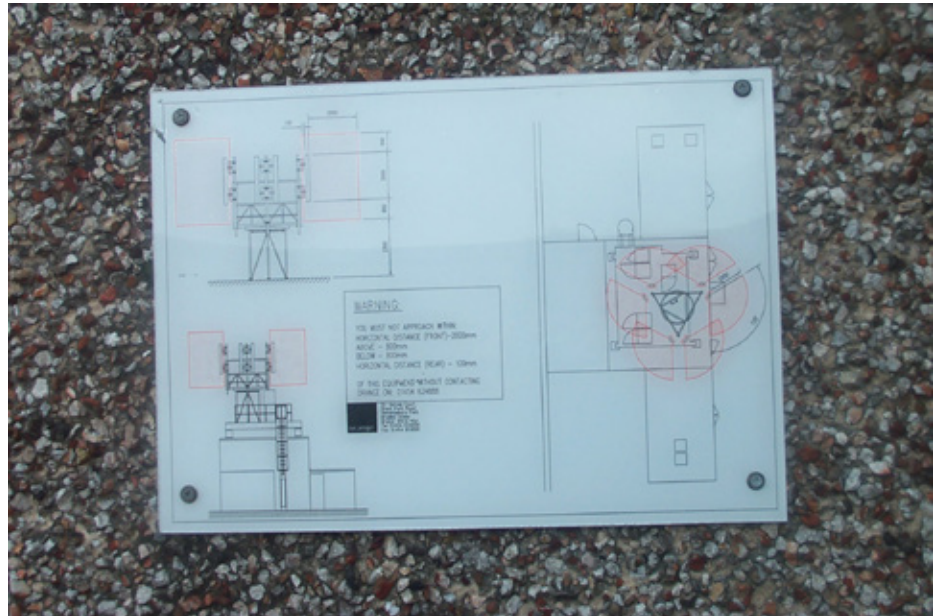
Umbauten und gelegentliche Wartungsarbeiten werden von Unterauftragnehmern der Betreiber durchgeführt.

10.5 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung

Eine genaue theoretische Expositionsbewertung würde Angaben über eine Reihe von Faktoren voraussetzen: die Art der Antenne, die Merkmale der Emission (z. B. Frequenz, abgestrahlte Leistung, Signalparameter, relative Frequenzbelegungsdauer, Zahl der übertragenen Kanäle), den Standort des Arbeitnehmers im Strahlungsfeld, die Expositionsdauer und die Beiträge von anderen Quellen.

Möglich wären auch Expositionsmessungen auf dem Gebäudedach; dies würde allerdings die Dienste eines Fachberaters voraussetzen, der über Spezialinstrumente verfügt. Der Hausbesitzer wusste, dass er über das Internet ein preisgünstiges Instrument leihen oder kaufen könnte, dieses jedoch womöglich unzuverlässige Messergebnisse liefern und auch auf andere als die erwünschten Signale reagieren würde. Außerdem war sich der Hausbesitzer darüber bewusst, dass die Dienste eines Fachberaters kostspielig sein würden und nur eine Momentaufnahme der Expositionssituation zum Zeitpunkt der Messungen ergeben würden.

Stattdessen notierte der Hausbesitzer bei einer einfachen visuellen Bestandsaufnahme auf dem Dach Art, Standort und Betreiber der Antennen und trug sie in einen Plan der Dachfläche ein. Anschließend setzte er sich mit den Betreibern in Verbindung und veranlasste sie zu einer Standortbegehung, bei der sie ihre Antennen identifizieren und die dazugehörigen Sicherheitsinformationen liefern sollten. Außerdem sah der Hausbesitzer in der Besucherliste nach, wer das Gebäudedach betreten hatte, und versuchte festzustellen, welche Arbeiten dabei ausgeführt worden waren. Anhand dieser Angaben wurde festgestellt, an welchen Orten Arbeitnehmer möglicherweise gefährliche Feldbereiche oder Sperrzonen betreten könnten (Abbildung 10.4). Als bewährtes Verfahren gilt, dass Arbeitnehmer die Nähe zu strahlenden Antennen und damit zu möglichen Expositionen oberhalb der Auslöseschwellen (AL) meiden; und keinesfalls sollte es ihnen möglich sein, strahlende Antennen zu berühren.

Abbildung 10.4 – Zeichnung mit Skizzierung der Sperrzonen auf der Dachfläche

10.6 Ergebnisse der Expositionsbewertung

Gestützt auf die visuelle Bestandsaufnahme und den Austausch mit den Betreibern stellte der Hausbesitzer die einschlägigen Sicherheitsinformationen in einem Ordner zusammen, der fortan auf dem Dach tätigen Arbeitnehmern zur Verfügung gestellt wurde. Dieser Ordner enthielt auch ein genaues Inventar der Antennen mit folgenden Angaben: Art der Antenne (z. B. Sektorantenne, Parabolantenne, Faltdipolantenne), Betreiber, Standort (Position, Höhe, Ausrichtung), Betriebsparameter, ggf. Größe der Sperrzone, Installationsdatum (Tabelle 10.2).

Tabelle 10.2 – Vom Hausbesitzer erstelltes Inventar der Dachantennen

Art der Antenne	Betreiber	Standort auf dem Dach	Betriebsparameter	Sperrzone	Installationsdatum
Mobilfunksektorantennen (6)	Vodafone	Stummelmast auf dem Aufzugsschacht Höhe: 6 m 0°, 120°, 240°	Frequenz: 2110-2170 MHz Leistung: 56 dBm pro Signal Strahlbreite: 85° Antennengewinn: 17 dBi	Vorn: 2,5 m Hinten: 0,25 m Oben und unten: 0,3 m	Juni 2006
Parabolantenne, 0,3 m	Vodafone	Montagepfahl auf dem Aufzugsschacht Höhe: 5,5 m 220°	Frequenz: 26 GHz Leistung: 3 mW Strahlbreite: 85° Antennengewinn: 44,5 dBm	Keine	Juni 2006
Faltdipolantenne	Pager Telecom	Nahe am Weg beim Dachzugang Höhe: 2 m	Frequenz: 138 MHz Leistung: 100 W omnidirektional Antennengewinn: 2,15 dBi	2,5 m im gesamten Umkreis der Antenne	Nicht bekannt

10.7 Risikobewertung

Der Hausbesitzer wusste, dass sämtliche Gefahren, die Arbeitnehmern auf dem Dach drohten, bewertet werden mussten (einschließlich allgemeiner Gefahren wie Rutschen, Stolpern und Stürze, Abgase aus Schornsteinen, Kaminen und Entlüftungsöffnungen sowie elektromagnetische Felder). Auf der OiRA (der Plattform der EU-OSHA für die interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung) wurde als Methodik ein strukturiertes Vorgehen empfohlen, und so wurden im Vorfeld der Bewertung alle Informationen geordnet, die von den Betreibern oder Herstellern aller Antennen verfügbar waren. Anhand quantitativer Angaben über die Stärke des von der Antenne ausgehenden Magnetfelds oder schematischer Schaubilder von ggf. bestehenden Sperrzonen konnte der Hausbesitzer die Größe des Risikos bewerten. Wenn die Feldstärke in einem zugänglichen Bereich die Auslöseschwellen überschritt, musste den Risiken durch die Erstellung und Umsetzung eines Aktionsplans begegnet werden.

Tabelle 10.3 zeigt ein Beispiel für die Bewertung von Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder.

Tabelle 10.3 – Bewertung der Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder für Dachantennen

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad			Wahrscheinlichkeit			Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen
			Gering	Schwerwiegend	Lebensgefährlich	Unwahrscheinlich	Möglich	Wahrscheinlich		
Direkte Wirkungen des Hochfrequenzfelds	Tür zum Dach verschlossen und Schlüsselvergabe kontrolliert	Fensterputzer	✓				✓		Gering	Umstellen der Antenne für das Empfängersystem (Faltdipolantenne), Entfernung vom Weg
	Warn- und Verbotshinweise	Dachdecker	✓				✓		Gering	Anbringung einer mechanischen Bremse, die verhindert, dass der Fensterputzwagen vor die Sektorantennen gefahren werden kann
	Sektorantennen ganz oben auf dem Aufzugsschacht aufgestellt und Sperrzonen unzugänglich	Klimatechniker	✓				✓		Gering	
	Leiter zum Dach des Aufzugsschachts mit Schloss gesichert	Versicherungsinspektoren	✓				✓		Gering	Erarbeitung schriftlicher Sicherheitsvorschriften, die alle Arbeitnehmer lesen (und unterschreiben) müssen, bevor sie das Dach betreten dürfen
	Parabolantennen weit oben an Montagepfählen angebracht, Strahlung außer Reichweite	Antennenmonteure	✓				✓		Gering	
		Besonders gefährdete Arbeitnehmer (schwängere Arbeitnehmerinnen)	✓				✓		Gering	
Indirekte Auswirkungen des Hochfrequenzfelds (Störung elektronischer medizinischer Geräte)	Siehe oben	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	✓			✓			Gering	Siehe oben. Warnungen für Träger medizinischer elektronischer Geräte in den schriftlichen Sicherheitsvorschriften

10.8 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen

Die visuelle Bestandsaufnahme des Hausbesitzers auf dem Dach hatte Folgendes ergeben:

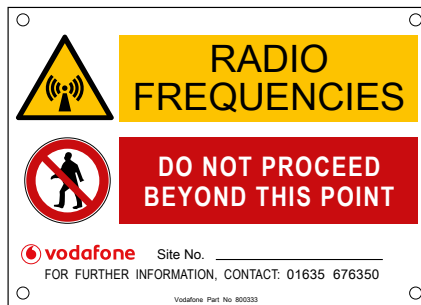
- Die Tür zum Dach war verschlossen, und der Sicherheitsbeauftragte des Gebäudes kontrollierte die Schlüsselvergabe. An der Innenseite der Tür befand sich ein Warnhinweis für die Funkantennen (Abbildung 10.5a).
- Die Mobilfunksektorantennen waren ganz oben auf dem Aufzugsschacht montiert, und die dazugehörigen Sperrzonen waren nicht zugänglich. Die Montagepfähle (Abbildung 10.5b) und die Antennengehäuse (Abbildung 10.5c) waren mit Warnhinweisen versehen.
- Die Leiter zum Dach des Aufzugsschachts war mit einem Schloss gesichert und mit einem Warnhinweis versehen (Abbildung 10.5d).
- Die Parabolantennen waren in großer Höhe an Masten angebracht, und der Bereich ihrer Strahlung war nicht zugänglich. (Dem Hausbesitzer lagen ohnehin schriftliche Nachweise des Betreibers vor, dass keine Sperrzonen bestanden.)

Abbildung 10.5 – Warnhinweise

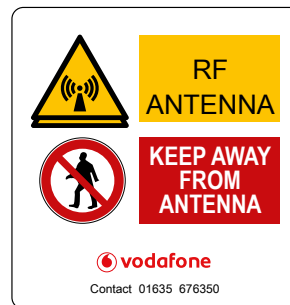
a) an der Tür zum Dach



b) am Montagepfahl der Antenne



c) am Antennengehäuse



d) an der Leiter zum Dach des Aufzugsschachts



10.9 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse

Da der Hausbesitzer mit der Verwaltung der Dachinstallationen in einigen Aspekten nicht zufrieden war, beschloss er die Einführung weiterer Schutzmaßnahmen:

- Dem Betreiber des Pager-Systems wird auferlegt, die Faltdipolantenne an einer anderen Stelle als neben dem Weg aufzustellen (Abbildung 10.6a) und einen Warnhinweis anzubringen (Abbildung 10.6b).
- Durch das Anbringen einer mechanischen Bremse wird verhindert, dass der Fensterputzwagen vor die Sektorantennen gehoben werden kann (Abbildung 10.6c).
- Schriftliche Sicherheitsvorschriften werden erstellt, die alle Arbeitnehmer lesen (und unterschreiben) müssen, bevor sie das Dach betreten dürfen. In diesem Rahmen werden auch Notfallpläne für vernünftigerweise vorhersehbare Unfälle und Zwischenfälle erarbeitet.

Abbildung 10.6

a) Antenne des Pager-Systems zu nahe am Weg



b) das neue Warnschild



c) Der Fensterputzwagen kann nicht länger vor die Antennen gehoben werden.



11 WALKIE-TALKIES

11.1 Arbeitsstätte

Diese Fallstudie bezieht sich auf ein kleines Bauunternehmen, dessen Arbeitnehmer auf Baustellen tätig sind. Der Vorarbeiter einer Baustelle hatte von der neuen EMF-Richtlinie erfahren und fragte sich, ob die Arbeitnehmer bei der Verwendung von Walkie-Talkies Schutzmaßnahmen anwenden müssten.

11.2 Art der Arbeit

Die Walkie-Talkies, mit denen sich die Arbeitnehmer auf der Baustelle verständigten, nutzen den lizenzfreien privaten mobilen Sprechfunk im Frequenzbereich um 446 MHz (Abbildung 11.1). Die Geräte stehen allen Arbeitnehmern auf der Baustelle zur Verfügung.

Abbildung 11.1 – Arbeitnehmer auf der Baustelle mit Walkie-Talkie



Der Bedienungsanleitung des Herstellers entnahm der Vorarbeiter, dass die Handsprechfunkgeräte im Frequenzbereich um 446 MHz betrieben werden. Allerdings enthielten weder die Bedienungsanleitung noch die EG-Konformitätserklärung (Abbildung 11.2) Angaben zur effektiv abgestrahlten Leistung (ERP) oder Gebrauchsempfehlungen.

Im Internet fand der Vorarbeiter Informationen der für diesen Dienst zuständigen Aufsichtsstelle, wonach PMR-446-Funkgeräte von Hand tragbar und mit einer eingebauten Antenne ausgestattet sein müssen, eine effektiv abgestrahlte Leistung von maximal 500 mW haben dürfen und der Norm ETS 300 296 entsprechen müssen.

Abbildung 11.2 – Mit dem Gerät mitgelieferte EG-Konformitätserklärung

EC Declaration of Conformity

We the manufacturer / Importer

Declare under our sole responsibility that the following product

Type of equipment: Private Mobile Radio

Model Name: _____

Country of Origin: _____

Brand: _____

complies with the essential protection requirements of R&TTE Directive 1999/5/EC on the approximation of the laws of the Council Directive 2004/108/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to *electromagnetic compatibility (EMC)* and the European Community Directive 2006/95/EC relating to *Electrical Safety*.

Assessment of compliance of the product with the requirements relating to the essential requirements according to Article 3 R&TTE was based on Annex III of the Directive 1999/105/EC and the following standards:


EMC&RF:

EN 301-489-5 V1.3.1:(2002-08)
EN 301-489-1 V1.8.1:(2008-04)

EN 300-296-1 V1.1.1:(2001-03)
EN 300-296-2 V1.1.1:(2001-03)
EN 300-341-1 V1.3.1(200012)
EN 300-341-2 V1.1.1(200012)

Electrical Safety:

EN 60950-1:2006

 Waste electrical products must not be disposed of with household waste. This equipment should be taken to your local recycling centre for safe treatment.

The product is labelled with the European Approval Marking CE as show. Any Unauthorized modification of the product voids this Declaration.

Manufacturer / Importer
(signature of authorized person)

CE

Signature: (_____) _____ London,

Signature: _____ Place & Date: 8th Aug, 2010

11.3 Verwendung der Anlage

Die Arbeitnehmer waren nicht in der Verwendung der Geräte unterwiesen worden. Im Zuge einer informellen Umfrage stellte der Vorarbeiter fest, dass die Walkie-Talkies bei der Verwendung entweder vor das Gesicht oder an die Seite des Gesichts gehalten wurden. Außerdem erfuhr er, dass die Gesprächskontakte zwischen den Arbeitern kurz waren und in der Regel pro Übertragung kaum eine Minute dauerten.

11.4 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung

Um die Exposition zu bewerten, die von den Sendern in der Nähe des Körpers ausging, musste die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte mithilfe einer computergestützten Modellierung überprüft werden. Im Idealfall müsste dies der Hersteller leisten. Wenn jedoch keine entsprechenden Angaben verfügbar sind, kann eine Bewertung anhand von Daten erfolgen, die über ähnliche Geräte veröffentlicht wurden. (Es lohnt sich auch, in Tabelle 3.2 von Band 1, Kapitel 3 des Leitfadens nachzuschlagen, ob bei dem Gerät die Konformität mit der EMF-Richtlinie vorausgesetzt wird.)

11.5 Ergebnisse der Expositionsbewertung

Nach Telefonanrufen bei verschiedenen Behörden erfuhr der Vorarbeiter, dass Daten über eine computergestützte Modellierung für ein ähnliches Gerät mit ähnlichen Betriebsfrequenzen veröffentlicht worden waren (in einer Studie von Dimbylow et al.). Daraus ging hervor, dass die maximale spezifische Energieabsorptionsrate (SAR) bei jeder denkbaren Nutzungshaltung in der Nähe des Gesichts über 10 g zusammenhängendes Gewebe $3,9 \text{ Wkg}^{-1}$ bezogen auf ein Watt Ausgangsleistung betrug.

Um diese Werte mit dem Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen zu vergleichen, der bei einer lokalen Exposition des Kopfes für diese Frequenz (10 Wkg^{-1}) anwendbar ist, muss die Exposition über sechs Minuten hinweg gemittelt werden. Da die Gespräche in beide Richtungen geführt werden, legte der Vorarbeiter einen Sendezyklus von höchstens 50 % zugrunde. Aus den Modellierungsdaten konnte er schließen, dass der Expositionsgrenzwert dann überschritten würde, wenn ein Gerät mit einer effektiv abgestrahlten Leistung von mehr als 5 W betrieben würde.

Der Hersteller stellte keine Angaben zur effektiv abgestrahlten Leistung der Walkie-Talkies zur Verfügung, doch die Aufsichtsstelle hatte bereits festgelegt, dass die Ausgangsleistung der Geräte nicht mehr als 0,5 W betragen durfte. Auf dieser Grundlage konnte der Vorarbeiter den Schluss ziehen, dass die durch die Geräte bedingte Exposition die in der EMF-Richtlinie festgelegten Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen nicht überschreiten würde.

11.6 Risikobewertung

Die Ergebnisse der Risikobewertung zeigen, dass die in der EMF-Richtlinie niedergelegten anwendbaren Expositionsgrenzwerte für gesundheitliche Wirkungen bei der Verwendung der Walkie-Talkies nicht überschritten werden. Nicht auszuschließen ist hingegen eine Störung medizinischer Geräte, die Arbeitnehmer am oder im Körper tragen. Arbeitnehmer, die mit medizinischen Geräten versorgt wurden, sollten sich einer individuellen Risikobewertung unterziehen, damit festgestellt werden kann, welche Schutzmaßnahmen ihnen ihr behandelnder Arzt empfohlen hat und wie diese eingehalten werden können.

11.7 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen

Es waren noch keine Schutzmaßnahmen getroffen worden.

11.8 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse

Der Vorarbeiter beschloss, einige einfache Maßnahmen einzuführen:

- Im Rahmen einer Mitarbeiterbesprechung wurde den Arbeitnehmern vermittelt, wann und wie sie das Walkie-Talkie verwenden sollten und welche Haltungen dabei empfohlen wurden.
- Die Belegschaftsmitglieder wurden aufgefordert, sich zu melden, wenn sie besonders gefährdet waren, also beispielsweise einen Herzschrittmacher trugen.
- Alle neu eingestellten Arbeitnehmer werden fortan auf besondere Gefährdungen überprüft.

12 FLUGHÄFEN

In dieser Fallstudie werden folgende Quellen elektromagnetischer Felder behandelt:

- die Rundsichtradaranlage eines Flughafens;
- ungerichtetes Funkfeuer;
- ein Entfernungsmessgerät.

12.1 Arbeitsstätte

Die Radaranlage, das ungerichtete Funkfeuer (Non-Directional Beacon, NDB) und das Entfernungsmessgerät (Distance Measuring Equipment, DME) wurden an einem internationalen Flughafen verwendet, der von Passagier- und Frachtmaschinen angefliegen wurde. Dabei waren folgende Arbeitsorte zu beachten:

- das Generatorhaus für den Radar, in dem der Hochfrequenzgenerator (HF-Generator) untergebracht war;
- der Stahlgittermast, auf dem die Radarantenne montiert war;
- der Flugverkehrskontrollturm;
- das Generatorhaus für das ungerichtete Funkfeuer, in dem der HF-Generator untergebracht war;
- der abgegrenzte Bereich für die NDB-Antenne;
- die Feuerwache des Flughafens, die sich in der Nähe des ungerichteten Funkfeuers befand;
- das Generatorhaus für das Entfernungsmessgerät (DME), in dem der HF-Generator untergebracht war;
- der Bereich im Umkreis des Generatorhauses des DME-Geräts, auf dessen Dach die Antenne montiert war.

12.2 Art der Arbeit

12.2.1 Radar

Die Arbeit an der Radaranlage wurde vorwiegend von Luftfahrttechnikern innerhalb des Generatorhauses ausgeübt. Gelegentlich mussten diese Techniker auch Arbeiten an der Antenne durchführen. Auch die Arbeitnehmer im Flugverkehrskontrollturm, der ca. 80 m von der Radarantenne entfernt stand und etwa dieselbe Höhe hatte, könnten der hochfrequenten Antennenstrahlung ausgesetzt sein und hatten ihre Besorgnis darüber geäußert.

12.2.2 Ungerichtetes Funkfeuer (NDB)

Die Arbeit am ungerichteten Funkfeuer wurde vorwiegend von Luftfahrttechnikern innerhalb des Generatorhauses ausgeübt. Außerdem mussten diese Arbeitnehmer gelegentlich das NDB-Gelände betreten, um sicherzustellen, dass die Ausgangsspezifikationen richtig eingestellt waren; diese Einstellungen wurden in einem Kasten in wenigen Metern Entfernung von der Antenne vorgenommen. Außerdem waren die Feuerwehrleute über die große Nähe des NDB zur Feuerwache des Flughafens beunruhigt.

12.2.3 Entfernungsmessgerät (DME)

Die Arbeit am Entfernungsmessgerät wurde vorwiegend von Technikern innerhalb des Generatorhauses ausgeübt. Diese Arbeitnehmer mussten selten an der Antenne selbst tätig werden, doch andere Flughafenmitarbeiter hatten ihre Beunruhigung darüber zum Ausdruck gebracht, dass sich die Antenne in nur 2,5 m Höhe über Grund befand und der Zugang dazu nicht beschränkt war.

12.3 Angaben zu den Geräten, die elektromagnetische Felder erzeugen

12.3.1 Radar

Die Radaranlage bestand aus einem Hochfrequenzgenerator, der Hochfrequenzpulse erzeugte, und einer rotierenden Antenne. Der Hochfrequenzgenerator war in einem Generatorhaus untergebracht, und die Antenne war an der Spitze eines Stahlgittermastes montiert. Das vom HF-Generator erzeugte Signal wurde über einen rechteckigen Wellenleiter zur Antenne transportiert. Abbildung 12.1 zeigt ein Beispiel für die Rundstrahlradaranlage eines Flughafens, und Tabelle 12.1 gibt deren technische Spezifikationen wieder.

Abbildung 12.1 – Beispiel für die Rundstrahlradaranlage eines Flughafens



Tabelle 12.1 – Technische Spezifikationen der Rundstrahlradaranlage des Flughafens

Betriebsparameter	Wert
Nominale Sendefrequenz	3 GHz
Nominale Spitzenausgangsleistung	480 bis 580 kW
Nominale durchschnittliche Ausgangsleistung	430 W
Pulsdauer	0,75 bis 0,9 μ s
Pulswiederholungsfrequenz	995 Hz
Drehzahl der Antennenrotation	15 rpm

12.3.2 Ungerichtetes Funkfeuer (NDB)

Das ungerichtete Funkfeuer bestand aus einem HF-Generator, der bei einer Höchstleistung von 100 W ein amplitudenmoduliertes HF-Signal mit einer Frequenz von 343 kHz erzeugt, und einem selbsttragenden Sender in Form eines 15 m hohen Gittermasts. Die Antenne war in einem abgegrenzten Bereich installiert, in dem sich auch ein Schrank mit den Tuning-Instrumenten befand. Der HF-Generator war in einem Generatorhaus außerhalb des Antennenbereichs untergebracht.

12.3.3 Entfernungsmessgerät (DME)

Das Entfernungsmessgerät (DME) bestand aus einem HF-Generator und einer Antenne, die auf dem Generatorhaus angebracht war. Das DME schickt hochfrequente Abfrageimpulse von anfliegenden Flugzeugen an diese zurück. Die HF-Signale werden im Frequenzbereich 978 MHz bis 1213 MHz mit einer Pulsdauer von 3,5 μ s übertragen. Das Intervall zwischen den Impulsen beträgt 12 bis 36 μ s.

12.4 Verwendung der Geräte

Radar, ungerichtetes Funkfeuer und Entfernungsmessgerät sind automatisiert und werden per Fernbedienung gesteuert. Anpassungen der Geräte und gelegentliche Wartungsarbeiten werden von Technikern vorgenommen, die von Zeit zu Zeit Zugang zu den Antennen benötigen. In diesem Fall wird der Hochfrequenzgenerator jedes Mal abgeschaltet.

12.5 Vorgehensweise bei der Expositionsbewertung

Die Expositionsmessungen wurden von einem Fachberater mithilfe von Spezialinstrumenten vorgenommen (eine mit einem Spektrumanalysator verbundene Steghorn-Empfangsantenne, mit der die Exposition gegenüber dem Radarpulssignal an bestimmten Standorten genau bestimmt wurde, und eine dreiachsige Messsonde für hochfrequente Felder). Die Messungen erfolgten an Orten, die für Arbeitnehmer während des laufenden Funkbetriebs zugänglich waren.

12.5.1 Radar

Aufgrund der Beschaffenheit der Radarsignalausendung (das hochfrequente Signal besteht aus kurzen Impulsen, und die Antenne rotiert) entsteht an keinem Standort eine kontinuierliche Exposition, sodass eine eingehende Expositionsbewertung im Hinblick auf zwei Größen erforderlich war:

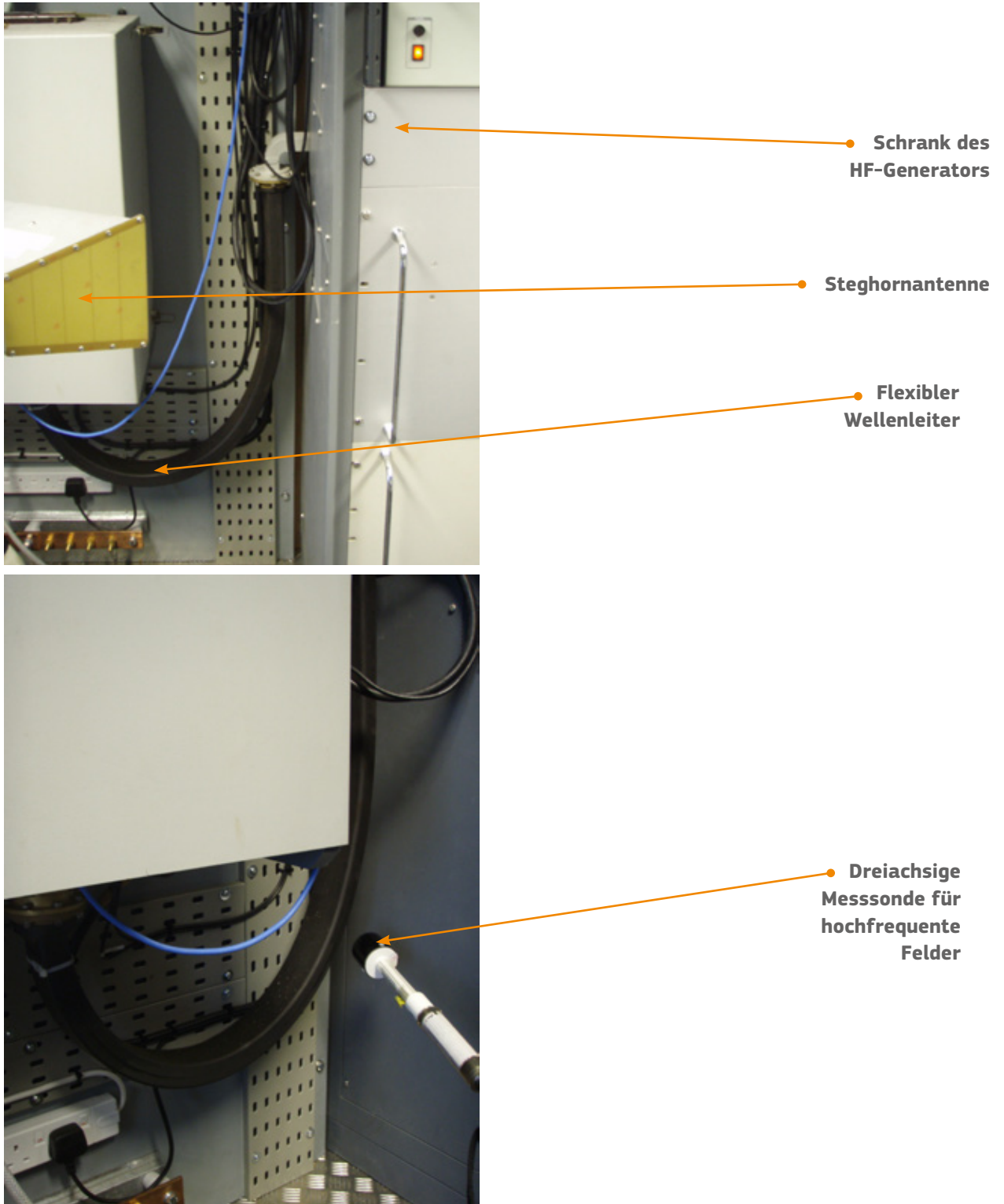
- die höchste Leistungsdichte, ein Maß der Exposition, der ein Arbeitnehmer bei jedem einzelnen Impuls des hochfrequenten Signals ausgesetzt sein könnte;
- die durchschnittliche Leistungsdichte, die rechnerisch aus der höchsten Leistungsdichte abgeleitet wird und ein Maß der Exposition im Verlauf mehrerer Minuten darstellt, wobei der Pulscharakter des Radarsignals und die Umdrehungsdauer der Antenne berücksichtigt werden.

Die Leistungsdichte wurde unter Verwendung der Steghornantenne und des Spektrumanalysators an vier Standorten im Flugverkehrskontrollturm gemessen.

Außerdem wurde an mehreren Standorten mithilfe der Messsonde für hochfrequente Felder die elektrische Feldstärke gemessen.

Messungen erfolgten im Generatorhaus, auf dem Antennenmast, in der Nähe des Wellenleiters (unter besonderer Beachtung von Verbindungsflanschen und flexiblen Abschnitten (Abbildung 12.2)), am Flugverkehrskontrollturm und an anderen Bereichen im Umkreis der Radaranlage, die für Arbeitnehmer – auch für besonders gefährdete – zugänglich waren.

Abbildung 12.2 – Messungen im Umkreis eines flexiblen Wellenleiters im Generatorhaus einer Radaranlage



12.5.2 Ungerichtetes Funkfeuer (NDB)

Die elektrische Feldstärke wurde mithilfe der Messsonde für hochfrequente Felder gemessen, und zwar an für Arbeitnehmer zugänglichen Stellen im Umkreis des ungerichteten Funkfeuers, wobei insbesondere die Bereiche berücksichtigt wurden, in denen sich die Luftfahrttechniker und die Feuerwehrleute des Flughafens aufhielten.

12.5.3 Entfernungsmessgerät (DME)

Die elektrische Feldstärke wurde mithilfe der Messsonde für hochfrequente Felder gemessen, und zwar innerhalb des Generatorhauses und außerhalb an der Stelle, wo man der Antenne am nächsten kommen konnte, d. h. wo ein Arbeitnehmer stehen würde, wenn er vom Boden aus die Antenne mit der Hand berühren wollte.

12.6 Ergebnisse der Expositionsbewertung

Die Messergebnisse wurden mit den anwendbaren Auslöseschwellen (AL) verglichen; die signifikanten Ergebnisse der Expositionsbewertung sind in den Tabellen 12.2, 12.3 und 12.4 wiedergegeben. Zur Bewertung der Exposition besonders gefährdeter Arbeitnehmer wurden die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte herangezogen (siehe Anhang E von Band 1 des Leitfadens).

Tabelle 12.2 – Zusammenfassung der Ergebnisse der Expositionsbewertung für die Radaranlage

Standort	Messgröße	Ergebnis	Expositionsanteil (in Prozent)	
			Geltende Auslöseschwelle ⁽¹⁾ ⁽²⁾	Referenzwert nach 1999/519/EG ⁽³⁾
Dach des Flugverkehrskontrollturms	Höchste Leistungsdichte	33 000 Wm ⁻²	66 %	330 %
	Durchschnittliche Leistungsdichte	0,012 Wm ⁻²	0,024 %	0,12 %
Generatorhaus	Maximale elektrische Feldstärke	< 0,1 Vm ⁻¹	< 0,1 %	< 0,2 %
In 10 cm Abstand vom flexiblen Wellenleiter außerhalb des Generatorhauses		29 Vm ⁻¹	21 %	48 %
Position des Rumpfs in größtmöglicher Nähe zur Antenne oder dem Antennenmast		31 Vm ⁻¹	22 %	51 %

⁽¹⁾ Da die EMF-Richtlinie für die Leistungsdichte von HF-Strahlung für Frequenzen unterhalb von 6 GHz, die für gepulste Hochfrequenzsignale besonders wichtig sind, keine Aktionschwellen vorgab, bewertete der Fachberater die gepulste HF-Strahlung des Radars, wie in Erwägungsgrund 15 der EMF-Richtlinie vorgesehen, nach folgenden Empfehlungen der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP):

Arbeitsplatzgrenzwert für die höchste Leistungsdichte gepulster HF-Strahlung im Frequenzbereich 2 GHz bis 300 GHz: 50 000 Wm⁻²;
Arbeitsplatzgrenzwert für die durchschnittliche Leistungsdichte gepulster HF-Strahlung im Frequenzbereich 2 GHz bis 300 GHz: 50 Wm⁻².

⁽²⁾ Auslöseschwelle für elektrische Feldstärken im Frequenzbereich 2 GHz bis 6 GHz: 140 Vm⁻¹.

⁽³⁾ Referenzwerte der Empfehlung 1999/519/EG des Rates:

höchste Leistungsdichte für gepulste HF-Strahlung im Frequenzbereich 2 bis 300 GHz: 10 000 Wm⁻²;
durchschnittliche Leistungsdichte im Frequenzbereich 2 bis 300 GHz: 10 Wm⁻²;
elektrische Feldstärke im Frequenzbereich 2 GHz bis 300 GHz: 61 Vm⁻¹.

Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 2,7$ dB angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt mit den Auslöseschwellen/Referenzwerten verglichen.

Tabelle 12.3 – Zusammenfassung der Ergebnisse der Expositionsbewertung für das ungerichtete Funkfeuer (NDB)

Standort	Maximale elektrische Feldstärke (Vm^{-1})	Expositionsanteil (in Prozent)		Referenzwert nach 1999/519/EG ⁽³⁾
		Niedrige Auslöseschwelle ⁽¹⁾	Hohe Auslöseschwelle ⁽²⁾	
Generatorhaus	100	59 %	17 %	120 %
Mannschaftsraum der Feuerwehr	< 0,1	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,2 %
Umzäunung des NDB-Geländes	270	160 %	45 %	310 %

⁽¹⁾ Niedrige Auslöseschwelle für elektrische Feldstärken im Frequenzbereich 3 kHz bis 10 MHz: 170 Vm^{-1} .

⁽²⁾ Hohe Auslöseschwelle für elektrische Feldstärken im Frequenzbereich 3 kHz bis 10 MHz: 610 Vm^{-1} .

⁽³⁾ Referenzwert der Empfehlung 1999/519/EG des Rates für elektrische Feldstärken im Frequenzbereich 150 kHz bis 1 MHz: 87 Vm^{-1} .

Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 2,7 \text{ dB}$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt mit den Auslöseschwellen/Referenzwerten verglichen.

Tabelle 12.4 – Zusammenfassung der Ergebnisse der Expositionsbewertung für das Entfernungsmessgerät (DME)

Standort	Maximale elektrische Feldstärke (Vm^{-1})	Expositionsanteil (in Prozent)	
		Auslöseschwelle ⁽¹⁾	Referenzwert nach 1999/519/EG ⁽²⁾
Generatorhaus	< 0,1	< 0,2 %	< 0,3 %
In 2,5 m Höhe über Grund, in 0,6 m Abstand zur Antenne	14	15 %	33 %

⁽¹⁾ Restriktivste Auslöseschwelle für elektrische Felder im DME-Sendefrequenzbereich von 978 MHz bis 1213 MHz: 94 Vm^{-1} .

⁽²⁾ Restriktivster Referenzwert der Empfehlung 1999/519/EG des Rates für elektrische Feldstärken im DME-Sendefrequenzbereich von 978 MHz bis 1213 MHz: 43 Vm^{-1} .

Hinweis: Die Messunsicherheit wurde mit $\pm 2,7 \text{ dB}$ angenommen, und die Ergebnisse wurden gemäß dem „Shared Risk“-Ansatz (siehe Anhang D5 von Band 1 des Leitfadens) direkt mit den Auslöseschwellen/Referenzwerten verglichen.

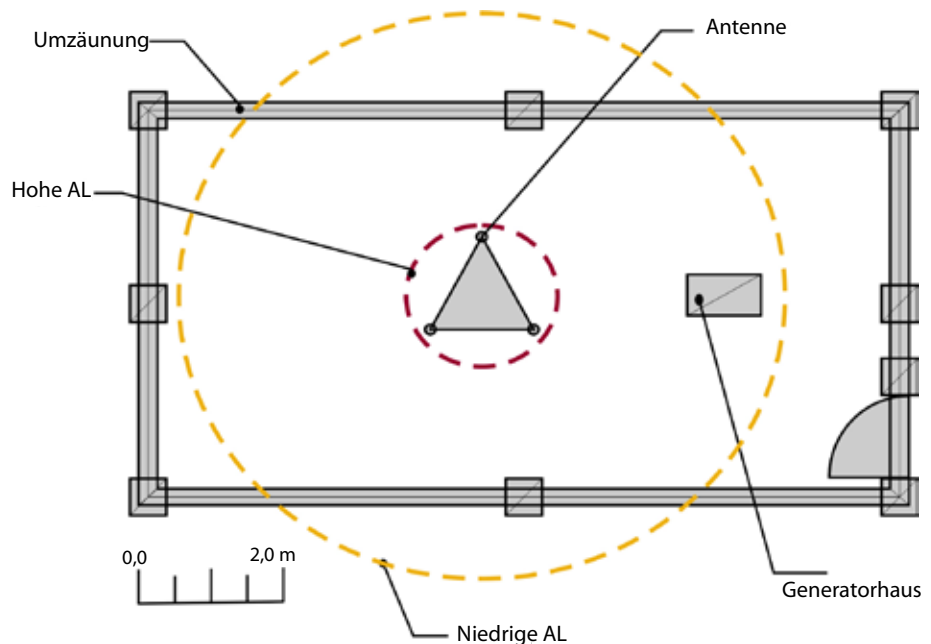
12.6.1 Radar

Die Ergebnisse der Expositionsbewertung ergaben, dass die Exposition gegenüber der durch die Radaranlage erzeugten HF-Strahlung unterhalb der in der EMF-Richtlinie genannten Auslöseschwellen lag. Allerdings wurden durch die Bewertung einige Bereiche erkennbar, in denen die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte überschritten wurden, wobei nur eine geringe Wahrscheinlichkeit bestand, dass sich besonders gefährdete Arbeitnehmer dort aufhielten.

12.6.2 Ungerichtetes Funkfeuer (NDB)

Die Ergebnisse der Expositionsbewertung zeigten, dass die durch das ungerichtete Funkfeuer erzeugte HF-Strahlung oberhalb der niedrigen Auslöseschwelle für elektrische Felder lag (Abbildung 12.3) und die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte außerhalb der Umzäunung der NDB-Anlage überschritten wurden. In diesen Bereichen konnten sich Arbeitnehmer, auch besonders gefährdete, aufhalten.

Abbildung 12.3 – Konturen (Draufsicht), innerhalb deren die Auslöseschwellen im Umkreis des ungerichteten Funkfeuers überschritten werden könnten



12.6.3 Entfernungsmessgerät (DME)

Die Ergebnisse der Expositionsbewertung zeigten, dass die durch das Entfernungsmessgerät erzeugte HF-Strahlung in allen zugänglichen Bereichen in dessen Umkreis unterhalb der Auslöseschwelle und unterhalb der in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte lag.

12.7 Risikobewertung

Gestützt auf die Expositionsbewertung des Fachberaters nahm der Flughafenbetreiber Risikobewertungen für die Radaranlage, das ungerichtete Funkfeuer und das Entfernungsmessgerät vor. Er folgte dabei der auf der OiRA (der Plattform der EU-OSHA für die interaktive Online-Gefährdungsbeurteilung) empfohlenen Vorgehensweise. Die Risikobewertung führte zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Auf dem Dach des Flugverkehrskontrollturms könnte der Radar für besonders gefährdete Arbeitnehmer eine Gefahr darstellen.
- Die Arbeitnehmer, einschließlich besonders gefährdeter Arbeitnehmer, hatten unbeschränkten Zugang zu Bereichen im Umkreis des ungerichteten Funkfeuers, in denen die niedrige Auslöseschwelle für sensorische Wirkungen überschritten wurde, da die Umzäunung in zu großer Nähe zum Sender angebracht worden war.
- In Bezug auf das Entfernungsmessgerät waren keine Gefahren für Arbeitnehmer zu erwarten.

Der Flughafenbetreiber erstellte auf der Grundlage der Risikobewertung einen Aktionsplan und dokumentierte diesen.

Die Tabellen 12.5, 12.6 und 12.7 enthalten Beispiele für die Risikobewertung mit Bezug auf elektromagnetische Felder für den Radar, für das ungerichtete Funkfeuer und für das Entfernungsmessgerät.

Tabelle 12.6 – Bewertung der Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder für das ungerichtete Funkfeuer

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad			Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen	
			Gering	Schwerwiegend	Lebensgefährlich			
			Wahrscheinlichkeit					
			Unwahrscheinlich	Möglich	Wahrscheinlich			
Direkte Wirkungen der HF-Strahlung	Physische Zugangsbeschränkung zum Gelände des Senders für unbefugte Personen	Techniker	✓			✓	Gering	Ausdehnung der Umzäunung um den gesamten Bereich, in dem die elektrische Feldstärke die niedrige Auslöseschwelle übersteigt
	Einfaches Verfahren, das gewährleistet, dass der Sender abgeschaltet wird, wenn sich eine Person in unmittelbare Nähe der Antenne begeben muss	Flughafenbeschäftigte	✓			✓	Gering	Spezifische Warnungen in den betrieblichen Sicherheitsinformationen
	Nur Warnhinweise für das Risiko des elektrischen Schlags	Besonders gefährdete Arbeitnehmer (einschließlich schwangere Arbeitnehmerinnen)	✓			✓	Gering	Anbringung geeigneter Warnhinweise mit Bezug auf die Gefahr durch hochfrequente Strahlung an den Zugangsstellen zum NDB-Gelände Erarbeitung eines Verfahrens für die Einstellung des NDB Sicherheitsunterweisung mit Bezug auf hochfrequente Strahlung für die Techniker, die das ungerichtete Funkfeuer einstellen
Indirekte Auswirkungen der HF-Strahlung (Störung medizinischer Implantate)	Nur Warnhinweise für das Risiko des elektrischen Schlags Alle Arbeitnehmer werden angewiesen, den Flughafenbetreiber zu unterrichten, falls sie ein implantiertes medizinisches Gerät tragen	Besonders gefährdete Arbeitnehmer	✓			✓	Mittel	Siehe oben

Tabelle 12.7 – Bewertung der Risiken mit Bezug auf elektromagnetische Felder für das Entfernungsmessgerät

Gefahren	Bestehende Präventions- und Schutzmaßnahmen	Gefährdete Personen	Schweregrad			Risikobewertung	Neue Präventions- und Schutzmaßnahmen		
			Gering	Schwerwiegend	Lebensgefährlich			Wahrscheinlichkeit	
					Unwahrscheinlich	Möglich	Wahrscheinlich		
Direkte Wirkungen der HF-Strahlung	Einfaches Verfahren, das gewährleistet, dass der Sender abgeschaltet wird, wenn sich eine Person in unmittelbare Nähe der Antenne begeben muss	Techniker	✓		✓			Gering	Keine
		Flughafenbeschäftigte	✓		✓			Gering	
		Besonders gefährdete Arbeitnehmer (einschließlich schwangere Arbeitnehmerinnen)	✓		✓			Gering	
Indirekte Auswirkungen der HF-Strahlung (Störung medizinischer Implantate)	Alle Arbeitnehmer werden angewiesen, den Flughafenbetreiber zu unterrichten, falls sie ein implantiertes medizinisches Gerät tragen	Besonders gefährdete Arbeitnehmer		✓	✓			Gering	Keine

12.8 Bereits bestehende Schutzmaßnahmen

12.8.1 Radar

Im Zusammenhang mit der Radaranlage bestanden unterschiedliche Schutz- und Präventionsmaßnahmen:

- Das Gelände, auf dem sich Generatorhaus und Antennenmast befanden, war von einem Sicherheitszaun umgeben.
- In Abwesenheit eines Pförtners waren die Tür zum Generatorhaus und das Tor zum Gelände abgeschlossen, und die Schlüssel wurden nur berechtigten Arbeitnehmern ausgehändigt.
- Die Treppe für den Antennenmast befand sich innerhalb des Geländes hinter einem eigenen abgeschlossenen Gitter.
- Am Tor zum Gelände der Radaranlage und am Tor zur Treppe des Antennenmasts waren Warnhinweise (Abbildung 12.4) angebracht.
- Der Generatorschrank im Generatorhaus war verriegelt.
- Mit einem einfachen Verfahren wurde gewährleistet, dass der HF-Generator abgeschaltet wird, sobald der Zugang zum Antennenmast erforderlich ist.
- Eine Sicherheitsvorkehrung sorgt dafür, dass der HF-Generator ausgeschaltet wird, sobald sich die Radarantenne nicht mehr dreht.
- Alle Flughafenbeschäftigten wurden angewiesen, den Flughafenbetreiber zu unterrichten, falls sie ein implantiertes medizinisches Gerät tragen.

Abbildung 12.4 – Warnhinweise am Tor zum Gelände der Radaranlage (links) und am Tor zum Antennenmast (rechts)



12.8.2 Ungerichtetes Funkfeuer (NDB)

Vor der Expositionsbewertung durch den Berater bestanden sehr wenige Schutz- und Präventionsmaßnahmen. Sie beschränkten sich auf Folgendes:

- Der Sender war umzäunt.
- An der Umzäunung des ungerichteten Funkfeuers waren Warnhinweise angebracht, die auf das Risiko des elektrischen Schlags hinwiesen.
- Mit einem einfachen Verfahren wurde gewährleistet, dass der HF-Generator abgeschaltet wird, sobald der Zugang zum Antennenmast erforderlich ist.
- Alle Flughafenbeschäftigten wurden angewiesen, den Flughafenbetreiber zu unterrichten, falls sie ein implantiertes medizinisches Gerät tragen.

12.8.3 Entfernungsmessgerät (DME)

Bereits vor der Expositionsbewertung wurde mit einem einfachen Verfahren gewährleistet, dass der Hochfrequenzgenerator abgeschaltet wird, sobald der Zugang zum Antennenmast erforderlich ist.

12.9 Zusätzliche Schutzmaßnahmen infolge der Bewertungsergebnisse

12.9.1 Radar

Mit den bestehenden Schutz- und Präventionsmaßnahmen wurde sichergestellt, dass die Expositionen der Flughafenbeschäftigten in den Bereichen, in denen Messungen vorgenommen wurden, insgesamt unterhalb der anwendbaren Auslöseschwellen und unterhalb der in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates genannten Referenzwerte lagen. Die einzige Ausnahme bildete das Dach des Flugverkehrskontrollturms, wo besonders gefährdeten Arbeitnehmer durch die vom Radar erzeugte HF-Strahlung eine Gefahr drohen könnte, wobei es als unwahrscheinlich erachtet wurde, dass solche Arbeitnehmer Zugang zu diesem Bereich benötigen würden.

Infolge der Expositionsbewertung setzte der Flughafenbetreiber einige geringfügige Empfehlungen des Beraters um:

- An der Tür zum Dach des Flugverkehrskontrollturms wurden Warnhinweise mit dem Piktogramm für eine strahlende Antenne und der Aufschrift „Achtung: Nichtionisierende Strahlung“ angebracht.
- Die Flughafenbeschäftigten wurden daran erinnert, wie wichtig es ist, den Flughafenbetreiber zu informieren, wenn ihnen ein medizinisches Gerät implantiert wurde.
- Die betrieblichen Sicherheitsinformationen wurden um Warnungen vor den Gefahren der vom Radar ausgehenden nichtionisierenden Strahlung ergänzt.

Eine zusätzliche Schutzmaßnahme namens „Sektorenausblendung“, bei der die Sendeleistung des Radars entlang eines vorbestimmten Bogens verringert wird, wurde in diesem Fall zwar nicht angewendet, könnte jedoch in Erwägung gezogen werden, wenn im Zuge einer Expositionsbewertung ein erhebliches Expositionsrisiko gegenüber radarbedingter hochfrequenter Strahlung festgestellt wird. Dabei müsste der Radar so programmiert werden, dass er in dem Rotationsabschnitt, in dem die Antenne auf den gefährdeten Bereich gerichtet ist, die hochfrequente Strahlungsleistung reduziert oder abschaltet. Die Sektorenausblendung muss jedoch äußerst sorgfältig gegen die Risiken abgewogen werden, die sich aus dem Ausfall von Überwachungsdaten infolge der verringerten Sendeleistung des Radars ergeben.

12.9.2 Ungerichtetes Funkfeuer (NDB)

Da sich die bestehenden Schutz- und Präventionsmaßnahmen als unzulänglich erwiesen hatten, wurde eine Reihe von neuen Maßnahmen eingeführt.

Infolge der Expositionsbewertung setzte der Flughafenbetreiber mehrere Empfehlungen des Beraters um:

- Die Umzäunung des NDB-Geländes wurde in größerer Entfernung zum Sender angebracht, damit sie auch den Bereich erfasste, in dem die elektrische Feldstärke die niedrige Auslöseschwelle überschritt. Eine andere Möglichkeit wäre die Unterweisung der Arbeitnehmer gewesen, die Zugang zu dem Gelände benötigen könnten, doch die Verschiebung der Umzäunung wurde als einfachere und wirkungsvollere Lösung angesehen.
- Am Tor zum NDB-Gelände wurden Warnhinweise mit dem Piktogramm für eine strahlende Antenne und der Aufschrift „Achtung: Nichtionisierende Strahlung“ angebracht.
- Es wurde ein Verfahren für die Einstellung des NDB-Signals erarbeitet.
- Die Techniker, die möglicherweise auf dem Gelände Einstellungen am ungerichteten Funkfeuer vornehmen müssen, wurden in einer Schulung über die Gefahren der HF-Strahlung aufgeklärt.
- Die Flughafenbeschäftigten wurden daran erinnert, wie wichtig es ist, den Flughafenbetreiber zu informieren, wenn ihnen ein medizinisches Gerät implantiert wurde.
- Die betrieblichen Sicherheitsinformationen wurden um Warnungen vor den Gefahren ergänzt, die von der nichtionisierenden Strahlung des ungerichteten Funkfeuers ausgingen.

12.9.3 Entfernungsmessgerät (DME)

- Da sich die bestehenden Maßnahmen als ausreichend erwiesen hatten, wurden keine weiteren Schutz- und Präventionsmaßnahmen ergriffen.

In der Richtlinie 2013/35/EU sind die Mindestvorschriften zum Schutz der Sicherheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch elektromagnetische Felder (EMF) festgelegt. Der vorliegende praktische Leitfaden soll den Arbeitgebern, insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), bei der Erfüllung ihrer Pflichten aus dieser Richtlinie als Hilfestellung dienen. Er kann aber auch für Arbeitnehmer, Arbeitnehmervertreter und die Aufsichtsbehörden der Mitgliedstaaten von Nutzen sein. Der Leitfaden besteht aus zwei Bänden und einem gesonderten Leitfaden für kleine und mittlere Unternehmen.

In Band 1 des praktischen Leitfadens finden Sie Hinweise zur Durchführung von Risikobewertungen und weiterführende Informationen für den Fall, dass Sie zusätzliche Schutz- oder Präventionsmaßnahmen treffen müssen.

In Band 2 werden zwölf Fallstudien vorgestellt, die Arbeitgebern beispielhaft zeigen, wie eine Risikobewertung anzugehen ist, und die einige der Präventions- und Schutzmaßnahmen veranschaulichen, die ergriffen werden können. Die Fallstudien stellen Arbeitsstätten verallgemeinernd dar, wurden jedoch anhand realer Arbeitssituationen zusammengestellt.

Der Leitfaden für KMU bietet Ihnen Hilfestellung bei der ersten Bewertung der von elektromagnetischen Feldern am Arbeitsplatz ausgehenden Gefährdungen. Auf der Grundlage der Bewertungsergebnisse können Sie mithilfe des Leitfadens feststellen, ob Sie infolge der EMF-Richtlinie weitere Maßnahmen ergreifen müssen.

Diese Veröffentlichung ist elektronisch in allen EU-Amtssprachen verfügbar.

Sie können unsere Veröffentlichungen unter folgender Adresse kostenlos herunterladen oder abonnieren: <http://ec.europa.eu/social/publications>
Wenn Sie regelmäßig über die Generaldirektion Beschäftigung, Soziales und Integration informiert werden möchten, melden Sie sich für den Erhalt des kostenlosen *elektronischen Social-Europe-Newsletters* an unter <http://ec.europa.eu/social/e-newsletter>



<https://www.facebook.com/socialeurope>



https://twitter.com/EU_Social

