

# REPORT

## **Belastung von Schweißern durch elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz**

Nummer 46

# Forschungsbericht

2008

## Belastung von Schweißern durch elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz

### Nummer 46

AUVA: Hamid Molla-Djafari  
Gerhard Rabitsch

ARC: Georg Neubauer  
Wolfram Giczi  
Stefan Cecil  
Johannes Gonter  
Kurt Lamedschwandner

AUVA: Allgemeine Unfallversicherungsanstalt  
ARC: Austrian Research Centers GmbH

Allgemeine Unfallversicherungsanstalt



**Verfasser:**

AUVA

Dipl.-Ing. Dr. Hamid Molla-Djafari  
Allgemeine Unfallversicherungsanstalt  
Adalbert-Stifter-Straße 65  
1201 Wien  
[hamid.molla-Djafari@auva.at](mailto:hamid.molla-Djafari@auva.at)

Dipl.-Ing. Gerhard Rabitsch  
Allgemeine Unfallversicherungsanstalt  
Adalbert-Stifter-Straße 65  
1201 Wien

ARC

Dipl.-Ing. Dr. Georg Neubauer  
Geschäftsfeld Sichere Mobilkommunikation,  
Bereich Smart Systems  
Austrian Research Centers GmbH - ARC  
2444 Seibersdorf  
ÖSTERREICH  
[georg.neubauer@arcs.ac.at](mailto:georg.neubauer@arcs.ac.at)

Dipl. -Ing. Wolfram Giczi  
Geschäftsfeld Sichere Mobilkommunikation,  
Bereich Smart Systems  
Austrian Research Centers GmbH - ARC  
2444 Seibersdorf  
ÖSTERREICH

Dipl. -Ing. Stefan Cecil  
Geschäftsfeld Sichere Mobilkommunikation,  
Bereich Smart Systems  
Austrian Research Centers GmbH - ARC  
2444 Seibersdorf  
ÖSTERREICH  
[stefan.cecil@arcs.ac.at](mailto:stefan.cecil@arcs.ac.at)

Johannes Gonter  
Geschäftsfeld Sichere Mobilkommunikation,  
Bereich Smart Systems  
Austrian Research Centers GmbH - ARC  
2444 Seibersdorf  
ÖSTERREICH

Dipl. -Ing. Kurt Lamedschwandner, M.B.A.  
Leiter des Geschäftsfeldes  
Sichere Mobilkommunikation,  
Bereich Smart Systems  
Austrian Research Centers GmbH - ARC  
2444 Seibersdorf  
ÖSTERREICH  
[kurt.lamedschwandner@arcs.ac.at](mailto:kurt.lamedschwandner@arcs.ac.at)

Die Autoren möchten Hrn. Ing. Peter Mair von der Fa. Fronius für seine Unterstützung und Beratung bei der Durchführung dieses Projektes danken. Ohne sein Wissen und seine Mithilfe hätten viele Teile des Projektes nicht in der vorliegenden Qualität realisiert werden können.

Zudem möchten die Autoren Hrn. DI Heinz Basalka von der Schweißtechnischen Zentralanstalt für die Unterstützung bei der Durchführung von Messungen danken.

Überdies gebührt Hrn. DI Ignacio Ruiz, Fr. Bianca Rusu, Hrn. Thomas Aumeyr, Hrn. Thomas Linder sowie Hrn. Ing. Benjamin Petric für deren unermüdliche Mitarbeit im Rahmen des Projektes Dank.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>0</b>	<b>KURZFASSUNG</b> .....	1
<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	3
<b>2</b>	<b>LITERATURERCHE</b> .....	5
2.1	Schweißverfahrenstechniken .....	5
2.1.1	EMF relevante Schweißverfahren und deren Einsatzhäufigkeit in Österreich .....	8
2.1.2	Schweißstromquellen und Schweißstromarten .....	18
2.1.3	Entscheidungsmatrix .....	24
2.2	Relevante Normen und andere Dokumente .....	29
2.2.1	Die Vornorm ÖVE/ÖNORM E 8850 .....	31
2.2.2	Die CENELEC Norm EN 50392 .....	32
2.2.3	Die Normentwürfe des TC 26A von CENELEC .....	33
2.3	Bisher angewandte Methoden zur Expositionsbestimmung .....	39
2.4	Untersuchungen über die Exposition von Arbeitnehmern .....	45
2.5	Untersuchungen über die Beeinflussung von Implantaten .....	71
<b>3</b>	<b>DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER AUSGEWÄHLTEN VERFAHREN</b> .....	81
3.1	Manuelles MIG/MAG - Schweißen .....	81
3.2	Manuelles WIG - Schweißen .....	84
3.3	Manuelles Punktschweißen .....	85
<b>4</b>	<b>SPEZIFIKATION DES MESSVERFAHRENS UND DER MESSMITTEL SOWIE DEREN AUFBAU</b> .....	91
4.1	Einleitung .....	93
4.2	Beschreibung der Feldmessgeräte .....	96
4.2.1	DC- und LF-Feldsonde Lakeshore 460 .....	96
4.2.2	Wechselfeldsonde NARDA ELT 400 .....	99
4.2.3	DC (+LF) und AC - Stromzangen .....	101
4.3	Beschreibung des Hardware - Systems .....	102
4.3.1	PC-Modul NI – PXI 8184 RT .....	103
4.3.2	DAQ-Modul NI – PXI 6250 (Slot 2) .....	103
4.3.3	DAQ-Modul NI – PXI 6120 (Slot 3) .....	103
4.3.4	Anschlussboxen NI BNC-2110 .....	104
4.4	Beschreibung der Software Tools .....	107
4.4.1	Programm „Exposure“ (Messdatenerfassung) .....	107
4.4.2	Software „Exposure Display“ (Datenauswertung) .....	115
4.4.3	Software „Phase Evaluation“ .....	122
4.4.3.1	RMS – Evaluierung .....	122
4.4.3.2	Phasen Evaluierung .....	123
4.4.4	Zusatztools .....	124
4.4.4.1	Waveform Cutter .....	124
4.4.4.2	Lakeshore Offset Calibration .....	125
4.4.4.3	Settings Changer .....	126

<b>5. UNTERSUCHUNG VON TESTMESSPLÄTZEN</b> .....	127
5.1 Einleitung .....	128
5.2 Beschreibung der Testmessplätze und Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen.....	129
5.2.1. Testmessplatz für das MIG/MAG-Schweißen, Fa. Fronius Wels .....	129
5.2.2. Testmessplatz für das WIG-Schweißen, Fa. Fronius Wels.....	145
5.2.3. Testmessplatz für das Punkt- (WID-) Schweißen, SZA Wien .....	164
<b>6 EXPOSITIONSBESTIMMUNG FÜR DIE AUSGEWÄHLTEN SCHWEISSVERFAHREN</b> .....	179
6.1 Einleitung .....	181
6.1.1 Messverfahren .....	181
6.1.2 Eingesetzte Messgeräte .....	183
6.2 Beschreibung der Testmessplätze und Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen.....	185
6.2.1 Messungen bei der Firma E.....	185
6.2.1.1 Arbeitsplatz Nr.1 für MAG-Schweißen .....	185
6.2.1.2 Arbeitsplatz Nr.2 für das MIG/MAG-Schweißen.....	190
6.2.2 Messungen bei der Firma M. ....	196
6.2.2.1 Arbeitsplatz Nr.1 für das WIG-Schweißen.....	196
6.2.2.2 Arbeitsplatz Nr.2 für das MAG-Schweißen.....	202
6.2.2.3 Arbeitsplatz Nr.3 für das WIG-Schweißen.....	208
6.2.3 Messungen bei der Firma G. ....	213
<b>7 VERGLEICH MIT DEN BASISGRÖSSEN</b> .....	223
7.1 Beschreibung der Methodik.....	223
7.1.1. Charakteristik des elektromagnetischen Feldes .....	224
7.1.2. Die Simulationssoftware SemcadX.....	227
7.1.3. Das „Visible Human“ Körpermodell.....	231
7.1.4. Die Methode der Frequenzskalierung.....	234
7.1.5. Handhabung von Feldern mit breitem Spektrum .....	238
7.2 Vergleich mit Messergebnissen.....	245
7.2.1 Schweißszenario Ständerschweißmaschine .....	248
7.2.2 Schweißszenario Kabel über Schulter (MIG-, WIG-Schweißen).....	255
7.2.3 Bewertung und Diskussion .....	261
7.3. Simulation der Testszenarien .....	269
7.3.1. Ausgewählte Simulationsszenarien .....	270
7.3.2. Auswahl der Frequenzen für die Simulation .....	273
7.3.3. Ermittlung und Mittelung der Stromdichten.....	277
7.3.4. Bestimmung der Referenzwerte in der Simulation.....	289
7.3.5. Analyse maximaler Stromdichtewerte in Kopf und Rumpf .....	294
7.4. Bewertung und Diskussion der Simulationsergebnisse.....	297
7.4.1. Vergleich der Ausschöpfung der Referenzwerte mit jener der Basisgrenzwerten .....	297
7.4.2. Unsicherheitsbewertung der Simulationsergebnisse .....	299
<b>8 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN</b> .....	303
8.1 Einleitung .....	303
8.2 Methodik zur Expositionsbewertung.....	310
8.3 Empfehlungen .....	323

<b>ANHANG A ERGÄNZENDE BESCHREIBUNG VON SOFT- UND HARDWARE DES MESSSYSTEMS</b>	327
A.1 Beschreibung des Datenformats	327
A.1.1 Gemessene und abgespeicherte Rohdaten	327
A.1.2 Verarbeitete Daten	328
A.2 Step-By-Step Anleitungen	329
A.2.1 Programm „Pfadsetzer“	329
A.2.2 Programm "Lakeshore Offset Calibration"	330
A.2.3 Programm „Exposure“	331
A.2.4 Programm „Waveform Cutter“	333
A.2.5 Programm „Exposure Display“ (Anzeige und Auswertung)	334
A.2.6 Programm „Phase Evaluation“	337
A.3 Systemaufbau	338
<b>ANHANG B AUSWAHL SIMULATIONSTOOL</b>	343
B.1 CST Microwave Studio	345
B.1.1 Grundsätzliche Methode der Rechnung in CST	345
B.1.2 Berechnungsbeispiel mit zwei leitenden Schleifen in CST MWS	346
B.1.3 Simulationen mit Körpermodell „HUGO“	350
B.2 Simulationen mit CST EM-Studio	356
B.3 Schlussfolgerungen	358
<b>ANHANG C ERGÄNZUNGEN ZUR METHODIK DER SIMULATION VON SCHWEISSERARBEITSPLÄTZEN</b>	359
C.1 Analyse magnetischer Feldstärken in der Umgebung einer Leiterschleife	359
C.2 Vernachlässigung der elektrischen Felder	361
C.3 Numerische Feldberechnung: der FDTD-Algorithmus	373
C.4 Tabelle der zugeordneten dielektrischen Eigenschaften der Gewebe im menschlichen Körpermodell	381
C.5 Simulationsprogramm WireMoM	385
C.6 Symbol- und Abkürzungsverzeich. der elektromagnetischen Feldtheorie	386
<b>ANHANG D ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN ÜBER NORMEN</b>	389
D.1 Die ICNIRP Richtlinien von 1998	389
D.2 Die ICNIRP Stellungnahme über gepulste Felder aus dem Jahr 2003	392
D.3 Die IEEE Norm C95.6 <sup>TM</sup> - 2002	396
D.4 Dokumente der deutschen BGFE	400
<b>ANHANG E LITERATURVERZEICHNIS</b>	405

## Inhaltsverzeichnis



## 0 KURZFASSUNG

Ziel dieses Projektes ist es, an im Hinblick auf die Exposition relevanten Schweißarbeitsplätzen in Österreich die Exposition mit geeigneten Messmethoden zu erheben sowie die induzierten Stromdichten im Körper beim Schweißen zu berechnen und zu beurteilen. Es wurden die Schweißverfahren MIG bzw. MAG, WIG sowie das Punktschweißen auf Basis der Einsatzhäufigkeit in Österreich und der Höhe der zu erwartenden Exposition ausgewählt.

Zur Expositionsbeurteilung wurden nach einer Evaluierung der verfügbaren Dokumente folgende Richtlinien und Normen herangezogen: Die Richtlinie 2004/40/EG der Europäischen Kommission zum Schutz von Arbeitnehmern gegenüber nachteiligen Wirkungen elektromagnetischer Felder, die Vornorm ÖVE/ÖNORM E8850 und die CENELEC Normentwürfe prEN 50444, prEN 50445 sowie prEN 50505.

Da die in der wissenschaftlichen Literatur beschriebenen Verfahren zur Expositionsbestimmung sich als weitgehend ungeeignet für fundierte Schlussfolgerungen herausstellten, wurde im Rahmen des Projektes ein geeignetes System zur Expositionserfassung entwickelt.

Bei den derzeit verwendeten Schweißtechnologien kann die Exposition des Schweißers gegenüber elektrischen Feldern vernachlässigt werden, das Messsystem wurde daher nur für die Erfassung der magnetischen Flussdichte im für die ausgewählten Schweißverfahren relevanten Frequenzbereich von 0 bis 400 kHz konzipiert.

Mit dem neu entwickelten Messsystem können komplexe, nichtsinusförmige Magnetfelder, wie sie beim Schweißen häufig vorkommen, frequenzselektiv und unter Berücksichtigung der Phasenlage der einzelnen Spektralkomponenten beurteilt werden.

Im Rahmen von drei Testmessungen zeigte sich, dass die Referenzwerte der magnetischen Flussdichte oftmals überschritten wurden, punktuell nahe der Kabel wurden bis zu 20-fache lokale Überschreitungen der Referenzwerte beobachtet. In diesen drei Szenarien wurde durch Simulation die Stromdichte im menschlichen Körper bestimmt. Es zeigte sich dabei, dass trotz einer erheblichen Überschreitung der Referenzwerte die Basisgrenzwerte nicht überschritten wurden. Die Stromdichte im Zentralnervensystem erreicht im ungünstigsten Fall 26 % des Basisgrenzwertes. Die Untersuchungsergebnisse bestätigen, dass eine bedeutsame Überschreitung der Referenzwerte nicht unbedingt mit einer Nichterfüllung der Schutzziele gleichzusetzen ist.

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse wird empfohlen die Emissionen von Schweißgeräten entsprechend der wirtschaftlichen Zumutbarkeit und technischen Machbarkeit möglichst gering zu halten. Bei einer Überschreitung eines Referenzwertes ist entweder durch technische, organisatorische oder administrative Maßnahmen eine Reduktion der Exposition auf Werte unterhalb der Referenzwerte herbeizuführen oder die Einhaltung der Basisgrenzwerte sicherzustellen. Technische Maßnahmen sind zum Beispiel eine Reduktion des Abstandes zwischen der

exponierten Person und der elektromagnetischen Quelle, eine Absenkung oder Vermeidung der Emission (z.B. durch Reduktion des Schweißstromes, Veränderung der Anordnung der Schweißkabel) oder die Durchführung von Abschirmmaßnahmen. Schweißer sind über mögliche Auswirkungen und Gefahren der Exposition zu unterrichten. Wenn technische Maßnahmen nicht ausreichen, können administrative Maßnahmen wie Zutrittsbeschränkungen, Einhaltung von Sicherheitsabständen oder die Verwendung von akustischen oder sichtbaren Warneinrichtungen ergriffen werden. Die vom Hersteller bereitgestellte Information zur Minimierung der Exposition ist zu berücksichtigen. Da die wissenschaftlichen Informationen über die mögliche Gefährdung von Implantatträgern unzureichend für allgemeingültige Schlussfolgerungen sind, wird die individuelle Evaluierung jedes Arbeitsplatzes empfohlen.