

Elektromagnetische Felder (EMF) im Alltag (ausgenommen Mobilfunk)

Gernot Schmid

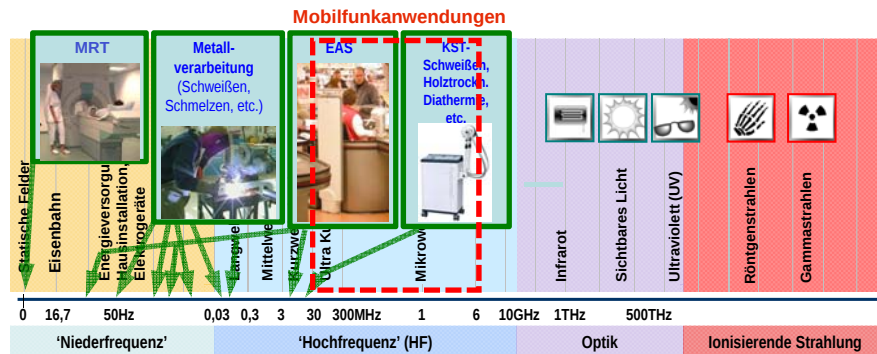
Seibersdorf Laboratories
EMC & Optics
A-2444 Seibersdorf
gernot.schmid@seibersdorf-laboratories.at

Inhalt

- Das elektromagnetische Spektrum
- Relevante Feldgrößen
- Biologische Effekte elektromagnetischer Felder
- Grenzwertkonzept nach ICNIRP
- Gesetzliche Regelungen
- Typische Immissionen im Alltag

Das elektromagnetische Spektrum

SEIBERSDORF
LABORATORIES

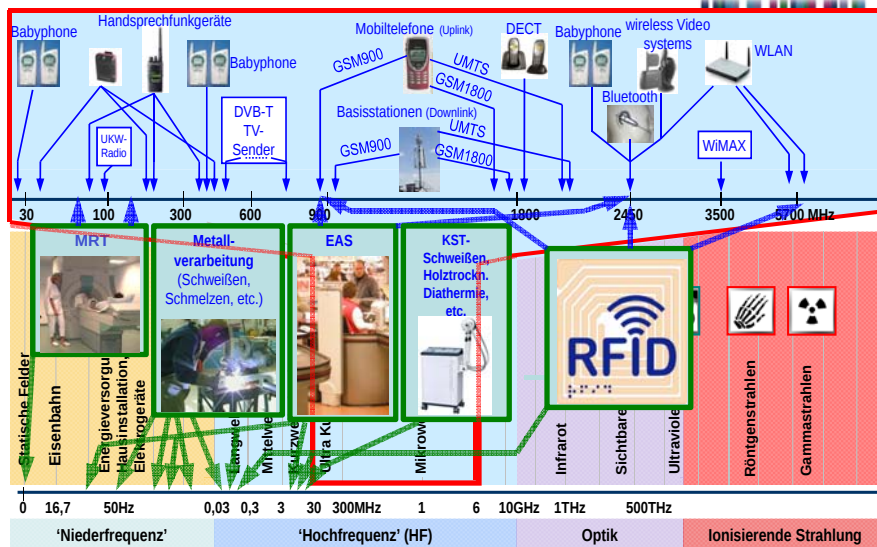


G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

3

Das elektromagnetische Spektrum

SEIBERSDORF
LABORATORIES



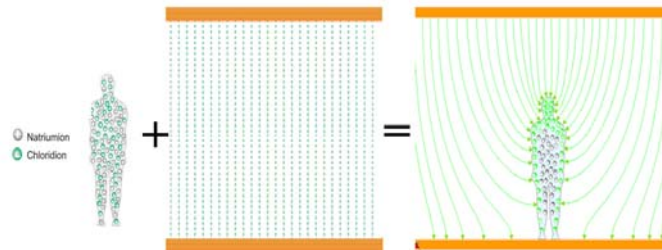
G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

4

Feldgrößen ⁽¹⁾

Elektrische Feldstärke $\vec{E}$ [V/m]:

- Ursache: elektrische Potenzialdifferenz (elektrische Spannung)
- Verzerrung des elektrischen Feldes durch leitfähige Objekte (z.B. menschlicher Körper)
- Gute Polarisierbarkeit der Körperoberfläche schirmt das Körperinnere sehr gut gegen äußere (niederfrequente) elektrische Felder ab. E-Feldschwächung (50 Hz) außen : innen
ca. 10.000 : 1 (Haut) bzw. 100.000:1 (Körperinneres)



Graphik aus: *Elektromagnetische Felder und Wellen (EMF)*, Interaktive Lernsoftware CD-ROM, Technische Universität Graz, www.emf.tugraz.at

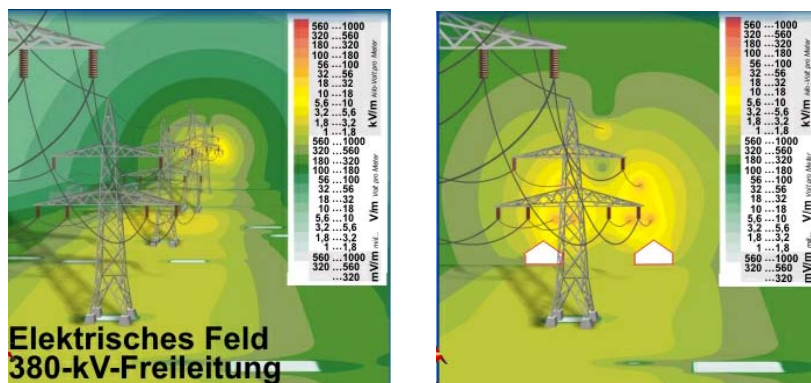
G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

5

Feldgrößen ⁽²⁾

Elektrische Feldstärke $\vec{E}$:

- Beispiel: elektrisches Feld einer Hochspannungsleitung zwei 3-Phasen-Systeme (Effektivwerte)



Graphik aus: *Elektromagnetische Felder und Wellen (EMF)*, Interaktive Lernsoftware CD-ROM, Technische Universität Graz, www.emf.tugraz.at

G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

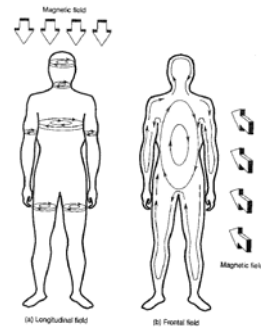
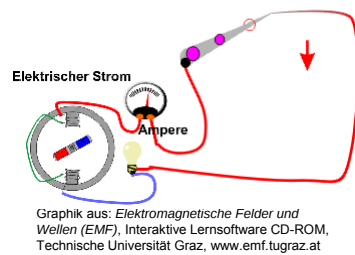
6

Feldgrößen ⁽³⁾

Magnetische Feldstärke $\vec{H}$ [A/m]:

- Ursache: bewegte elektrische Ladungen (elektrischer Strom)
- Durchdringt (im NF-Bereich) den menschlichen Körper
- Induziert Ströme/Feldstärken im (relativ gut leitfähigen Gewebe)

Magnetisches Wechselfeld



G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

7

Feldgrößen ⁽⁴⁾

Magnetische Feldstärke $\vec{H}$ [A/m]

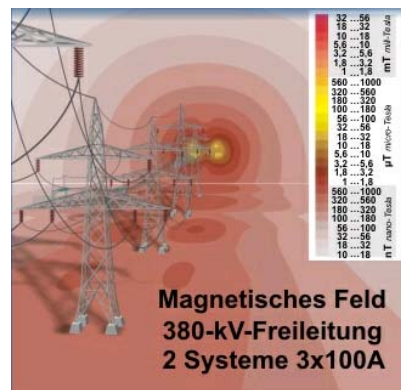
bzw. Flussdichte $\vec{B}$ [T]:

- Beziehung zwischen H und B:

$$\vec{B} = \mu_r \mu_0 \vec{H}$$

μ_r ... materialabhängig, für Luft und biolog. Medien gilt $\mu_r \approx 1$
 μ_0 ... Vakuumpermeabilität = $4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am

- in der Praxis (für biologische Medien) ist daher die Angabe von entweder H oder B ausreichend



Graphik aus: *Elektromagnetische Felder und Wellen (EMF)*, Interaktive Lernsoftware CD-ROM, Technische Universität Graz, www.emf.tugraz.at

G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

8

Feldgrößen ⁽⁵⁾

Elektromagnetische Felder im HF-Bereich ⁽¹⁾:

- Verkopplung von magnetischem und elektrischer Feldstärke
- Grundsätzlich immer vorhanden
- praktisch nur relevant, wenn Systemabmessungen, Materialeigenschaften und Frequenz in gewissen Verhältnissen zueinander stehen
- typ. im Hochfrequenzbereich: Wellenlänge in der gleichen Größenordnung (oder kleiner) als Systemabmessungen

Wellenlänge $\lambda = \frac{c}{f}$ $c \dots$ Ausbreitungsgeschwindigkeit ($\approx c_0$ in Luft $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s)
 $f \dots$ Frequenz

Beispiele: 50 Hz $\rightarrow \lambda = 6000$ km; Handy 1800 MHz $\rightarrow \lambda = 17$ cm;

- Ausbreitung von $\vec{E}$ und $\vec{H}$ als *elektromagnetische Welle*

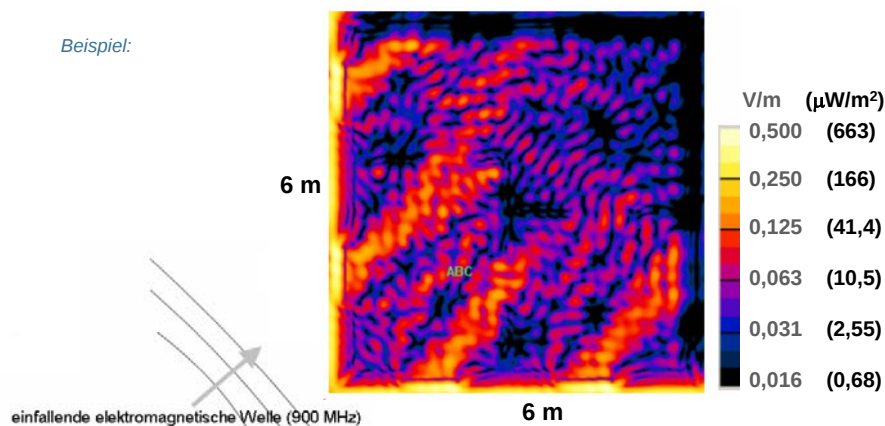
▪ **Strahlungsleistungsflussdichte** $\vec{S}$ [W/m²] $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$

Feldgrößen ⁽⁶⁾

Elektromagnetische Felder im HF-Bereich ⁽²⁾:

- resultierende Feldverteilung ist im Allgemeinen sehr komplex und inhomogen

Beispiel:



Biologische Effekte elektrischer, magnetischer und EM Felder



wissenschaftlich "gesichert"

Niederfrequenz

- Zellreizung / Stimulation

Hochfrequenz

- Gewebserwärmung

kontrovers diskutiert (Beispiele)

- Krebs (Leukämie ↔ NF Magnetfelder, Kopftumore ↔ Handys)
- Schlafstörungen (Mobilfunk)
- Genotoxische Effekte (DNA-Strangbrüche ↔ NF-Magnetfelder und HF)
- Proteinbiosynthese (Proteomics ↔ HF (Handy))
- Subj. Symptome (Stress, Müdigkeit, Kopfschmerz, etc. ↔ Mobilfunk BS)
-

Biologische Effekte elektrischer, magnetischer und EM Felder



Zellreizung / Stimulation im NF-Bereich:

- Nerven- und Muskelzellen sind physiologisch durch elektrische Ströme (Depolarisierung der Zellmembran) stimulierbar
- Depolarisation der Zellmembran auch „von außen“, durch Einprägen von elektrischen Strömen möglich (z.B. Elektrostimulation)
- Externe elektrische / magnetische Wechselfelder induzieren elektrische Ströme im Gewebe, die zu Zellmembran-Depolarisation oder Hyperpolarisation führen können
- Dadurch ist das Auslösen eines Aktionspotenzials / Verschiebung der Schwelle für Auslösen eines Aktionspotenzials an der Zellmembran möglich
→ kann zu relevantem Effekt führen (Phosphene, kognitive Effekte, Muskelkontraktionen, etc.)
- Empfindlichkeit der Zellen bezüglich Stimulationseffekten ist stark frequenzabhängig
→ frequenzabhängige Basisgrenzwerte

Biologische Effekte elektrischer, magnetischer und EM Felder



Gewebserwärmung im HF-/ Mikrowellenbereich :

- Absorption von Strahlungsleistung → Erwärmung des Gewebes
- Erwärmung des Körperkerns über ca. 1°C führt zu Verhaltensänderungen und thermischem Stress
- Gewebeschädigungen ab 1-2°C Temperaturerhöhungen
- Aus Experimenten und Modellrechnungen (vor 1998) ergibt sich eine Körperkerntemperaturerhöhung von 1°C bei einer Ganzkörperabsorptionsrate von ca. 1-4 W/kg
- Ausgangsbasis der Grenzwertfestsetzung von ICNIRP (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection)
- **Mikrowellenhören:** bei gepulster Mikrowellenstrahlung großer Impulsenergie (Radar)
 - „Knack“-Geräusche wahrnehmbar, keine makroskopische Gewebserwärmung
 - thermoelastische Expansion des Schädelknochens
 - vollständig reversibel → Belästigung, keine Gefährdung

Grenzwertkonzept ICNIRP



(ICNIRP ... International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection)

- basiert ausschließlich auf „gesicherten“, relevanten Effekten (=Kurzzeiteffekten)
- „diskutierte“ (bislang „nicht gesicherte“) Effekte werden zwar gewürdigt, jedoch aufgrund der unsicheren Datenlage als nicht geeignet für die quantitative Festsetzung von Grenzwertempfehlungen angesehen

Niederfrequenz (bis 10 MHz) – „Basis(grenz)werte“:

- Vermeidung von Zellreizungen / Stimulation
- ⇒ „**ICNIRP 1998**“: Begrenzung der induzierten elektr. Stromdichte J_i [A/m²] im Zentralnervensystem (gemittelt über 1 cm² quer zur Stromflussrichtung)
- ⇒ „**ICNIRP 2010**“: Begrenzung der induzierten elektr. Feldstärke E_i [V/m] in allen Geweben (gemittelt über 2 x 2 x 2 mm³)

Grenzwertkonzept ICNIRP



(ICNIRP ... International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection)

Hochfrequenz (ab 10 MHz) – „Basis(grenz)werte“:

- Vermeidung schädigender Gewebetemperaturerhöhung

⇒ „ICNIRP 1998“:

Begrenzung der absorbierten Leistung

100 kHz – 10 GHz: Spezifische Absorptionsrate **SAR** [W/kg]

→ Grenze für Ganzkörpermittelwert

→ Grenze für lokale Exposition (10g Mittelwert)

10 GHz – 300 GHz: Strahlungsleistungsdichte **S** [W/m²]

Grenzwertkonzept ICNIRP

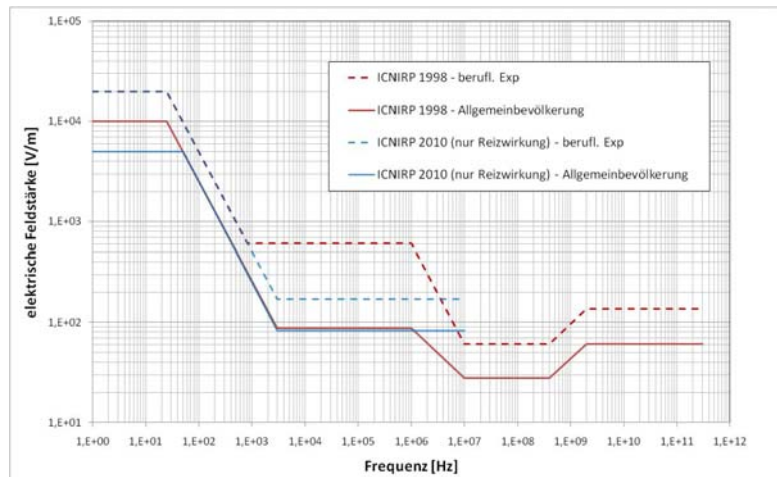


Basis(grenz)werte und Referenzwerte

- **Basis(grenz)werte** als **J_i** bzw. **E_i** (NF) und **SAR** bzw. **S** (HF) festgelegt
- **J_i**, **E_i**, **SAR** nur direkt im Körper (in Körperrückbildungen), mit großem Aufwand messbar bzw. berechenbar (Computersimulationen)
 - ⇒ für routinemäßige Expositionsbeurteilung in der Praxis ungeeignet
- Ableitung von **Referenzwerten** (aus den Basis(grenz)werten) für die **äußeren, ungestörten Feldgrößen** (routinemäßig messbar)
 - elektrische Feldstärke **E** [V/m]
 - magnetische Feldstärke **H** [A/m]
 - Strahlungsleistungsdichte **S** [W/m²]
- **Konservative Annahmen** der physikalisch relevanten Parameter bei der Ableitung der Referenzwerte, so dass bei **Unterschreitung der Referenzwerte** auch von der **Einhaltung der Basis(grenz)werte** ausgegangen werden kann

Referenzwerte ICNIRP 1998 vs. 2010

Elektrische Feldstärke E

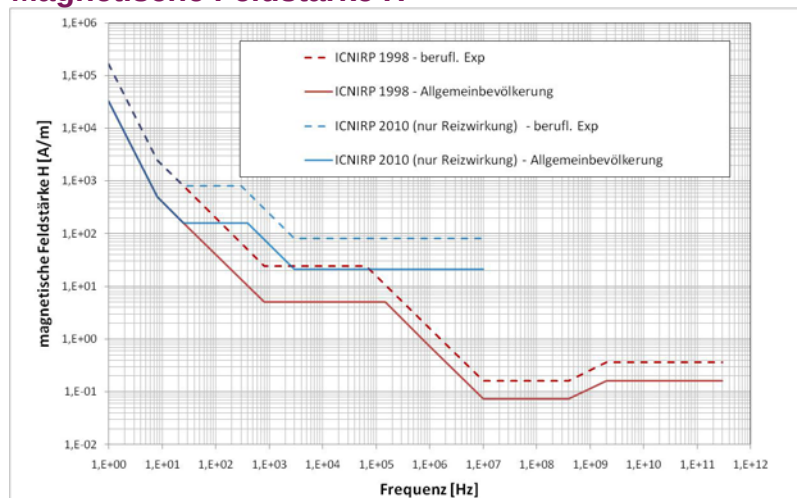


G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

17

Referenzwerte ICNIRP 1998 vs. 2010

Magnetische Feldstärke H



G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

18

Gesetzliche Regelungen ⁽¹⁾



Derzeit zwei EU-Dokumente explizit für Personenschutz vor EMF

▪ EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG (→ Allgemeinbevölkerung)

EMPFEHLUNG DES RATES
vom 12. Juli 1999
zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern
(0 Hz — 300 GHz)
(1999/519/EG)

▪ EU-Richtlinie 2004/40/EG (→ berufliche Exposition)

RICHTLINIE 2004/40/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES
vom 29. April 2004
über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der
Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) (18. Einzelrichtlinie im
Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)

Gesetzliche Regelungen ⁽²⁾



EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG

- Basierend auf ICNIRP-Guidelines 1998 für Allgemeinbevölkerung
- War als Richtlinie geplant, ist aber an den Gegenstimmen von einigen Mitgliedstaaten gescheitert → daher „nur“ als Ratsempfehlung veröffentlicht → keine Verbindlichkeit zur Umsetzung durch Mitgliedsstaaten
- Dennoch haben einige Mitgliedsstaaten nationale gesetzliche Regelungen auf Basis von 1999/519/EG geschaffen (manche Staaten auch mit strengeren Grenz- bzw. Referenzwerten)
- **Nicht jedoch Österreich** → in Österreich nach wie vor keine allgemeine gesetzliche Regelung (Verordnung) bezüglich Personenschutz gegenüber EMF für die Allgemeinbevölkerung; → „nur“ **ÖNORM E8850** (auf diese wird teilweise in anlagenspezifischen Genehmigungsverfahren referenziert)

Gesetzliche Regelungen ⁽³⁾



EU-Richtlinie 2004/40/EG

- Betrifft **ausschließlich** den Arbeitsplatz
- **Historie:**
 - Sollte **ursprünglich bis April 2008** in nationales Recht der Mitgliedstaaten umgesetzt sein
 - Frühjahr 2008: **Aufschub** der Umsetzungsdeadline **bis April 2012** und Beschluss weitergehende Untersuchungen/Erhebungen der Exposition von medizinischem Personal durch MRI
 - Überarbeitung des Richtlinientextes durch die Europäische Kommission
 - **Sommer/Herbst 2011: Umfangreiche Einsprüche vieler Mitgliedstaaten** aufgrund des mangelhaften, teilweise rechtlich und technisch/physikalisch bedenklichen Entwurfstextes.
 - Nach wie vor Uneinigkeit, noch eine RAG-Sitzung unter derzeitiger (PL) Präsidentschaft am 21.11.
 - **ICNIRP Guidelines als Basis der RL scheint unbestritten** (für NF-Bereich ICNIRP 2010, für HF-Bereich ICNIRP 1998)

21

G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

Gesetzliche Regelungen Österreich ⁽¹⁾



- In **Österreich** derzeit **keine** **Verordnung zu EMF** in Kraft (weder für Allgemeinbevölkerung noch für berufliche Exposition)
- **ÖNORM E 8850** (basierend auf ICNIRP 1998) verfügbar, als „Stand der Technik“



- **Allerdings:**
 - Im Zuge von Genehmigungsverfahren für verschiedene Anlagen (z.B. Mobilfunkmasten) wird Übereinstimmung mit ÖNORM 8850 verlangt

22

G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

Gesetzliche Regelungen Österreich (2)

- **Weiters:** über Zulassungsvorschriften (CE-Kennzeichen) für mehrere Produktfamilien ist eine Beschränkung der Exposition der Allgemeinbevölkerung ableitbar

➤ EU-Richtlinie 1999/5/EG („R&TTE-Richtlinie“)

RICHTLINIE 1999/5/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES
vom 9. März 1999
über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen und die gegenseitige Anerkennung ihrer Konformität

➤ EU-Richtlinie 2006/95/EG („Niederspannungsrichtlinie“)

RICHTLINIE 2006/95/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES
vom 12. Dezember 2006
zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen

23

Beispiele von EMF-Quellen im Alltag

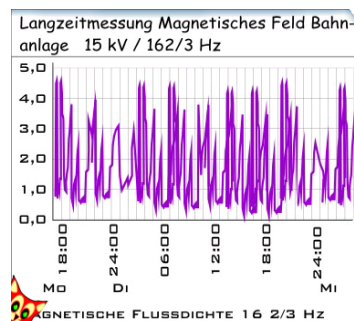
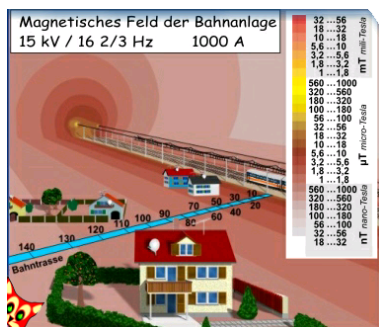
(ohne Mobilfunk)

Bahnstromversorgung 16,67 Hz :

- Österreich (D, CH): 15 kV Fahrdrahtspannung, ca. 100 A (ca. 1000 A Anfahrstrom)
- starke zeitliche Schwankungen des magnetischen Feldes

ICNIRP 2010 Referenzwert: 300 μ T

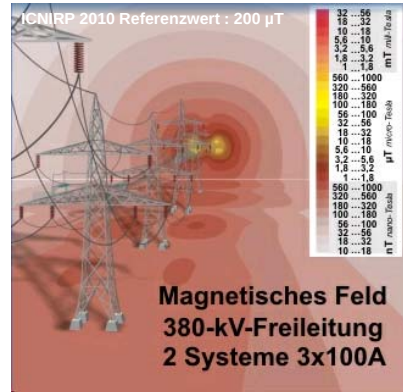
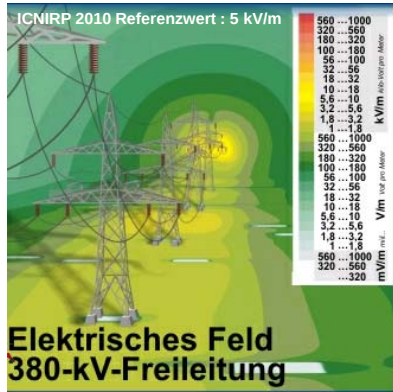
30 m Distanz



24

Beispiele von EMF-Quellen im Alltag

Energieversorgung 50 Hz (Hochspannungsebene):

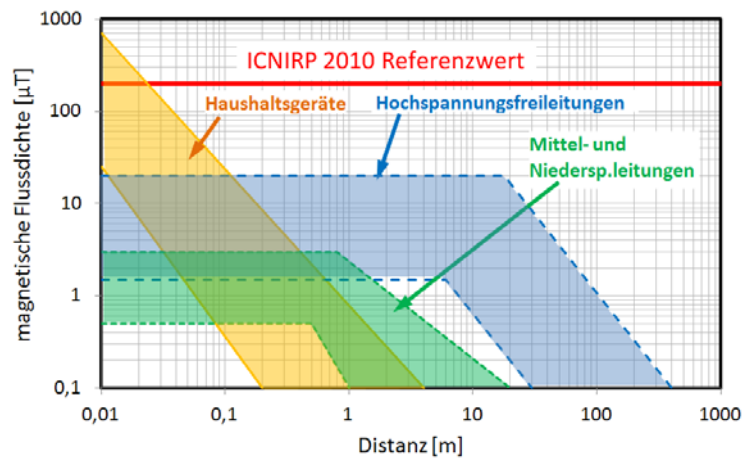


Graphik aus: *Elektromagnetische Felder und Wellen (EMF)*, Interaktive Lernsoftware CD-ROM, Technische Universität Graz, www.emf.tugraz.at

G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

Beispiele von EMF-Quellen im Alltag

Vereinfachte Zusammenfassung typ. 50 Hz Quellen



G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

Beispiele von EMF-Quellen im Alltag

Elektronische Artikelsicherung

58 kHz (Akustomagnetisch)



8,2 MHz (Radiofrequenz)



bis 1000% v. Referenzwert (!!!)

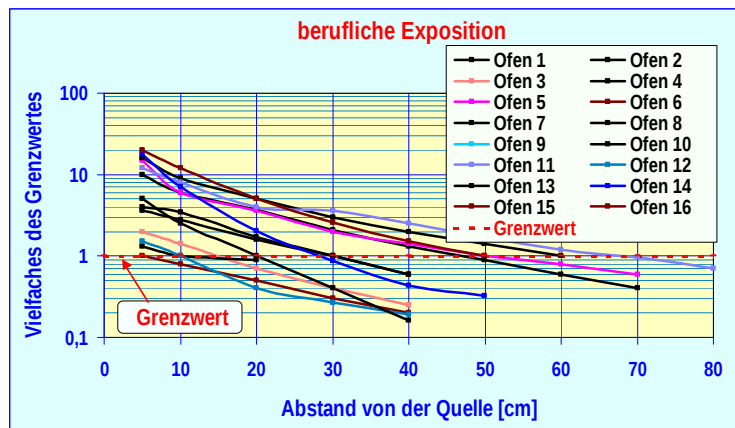
typ. bis 20% v. Referenzwert

@ 20 cm Distanz

G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

Beispiele von EMF-Quellen im Arbeits-Alltag

Induktionsöfen



Graphik zur Verfügung gestellt von der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt AUVA, Dr. Molla-Djafari

G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

Beispiele von EMF-Quellen im Arbeits-Alltag



Weitere relevante Quellen im industriellen Umfeld

- Elektroschweißgeräte (Metall und Kunststoff)
- Metalldetektoren für Zutrittskontrollen
- Magnetfeldtherapiegeräte
- Induktionskochgeräte
- Trocknungsanlagen (Holz, Textil)
- Diathermie
-

G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

DI Gernot Schmid
Seibersdorf Laboratories
EMC & Optics
A-2444 Seibersdorf
gernot.schmid@seibersdorf-laboratories.at

EMF-Seminare: <http://www.seibersdorf-laboratories.at/ueber-uns/academy.html>

G. Schmid, EMC & Optics
ÖVS Herbsttagung, 22.11.2011, Wien

Seite 30