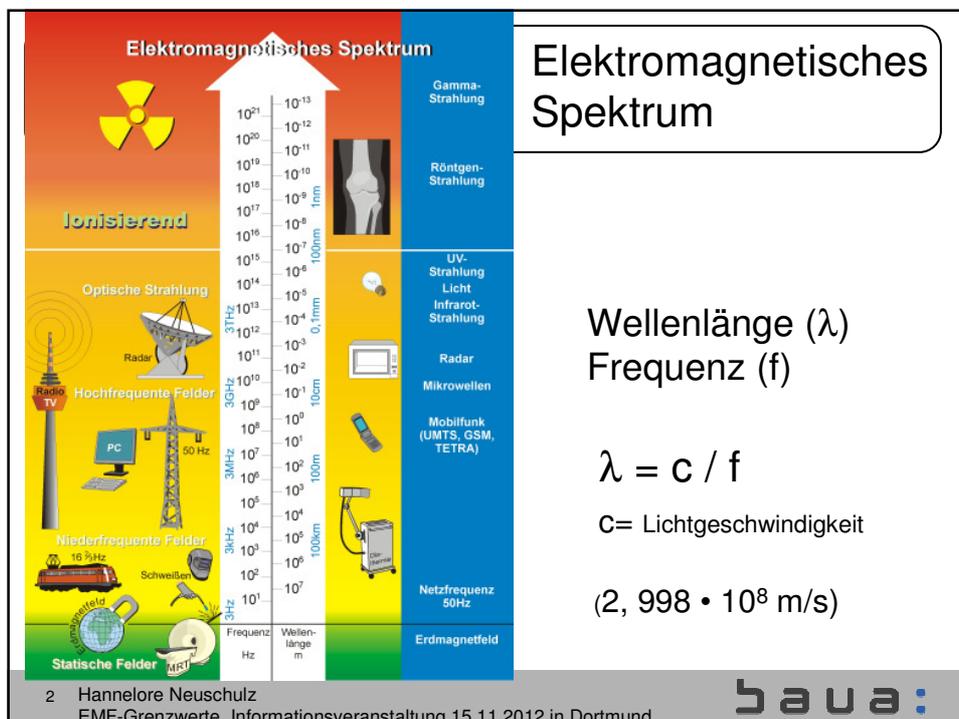


## Festlegung von Grenzwerten für elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz

Dr. Hannelore Neuschulz  
Gruppe 2.2  
Physikalische Faktoren

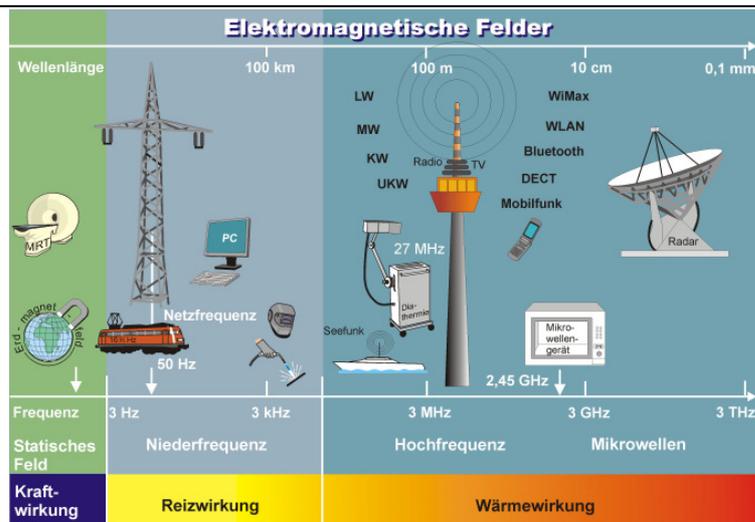


## Wahrnehmung, Wirkung, Bewertung von EMF

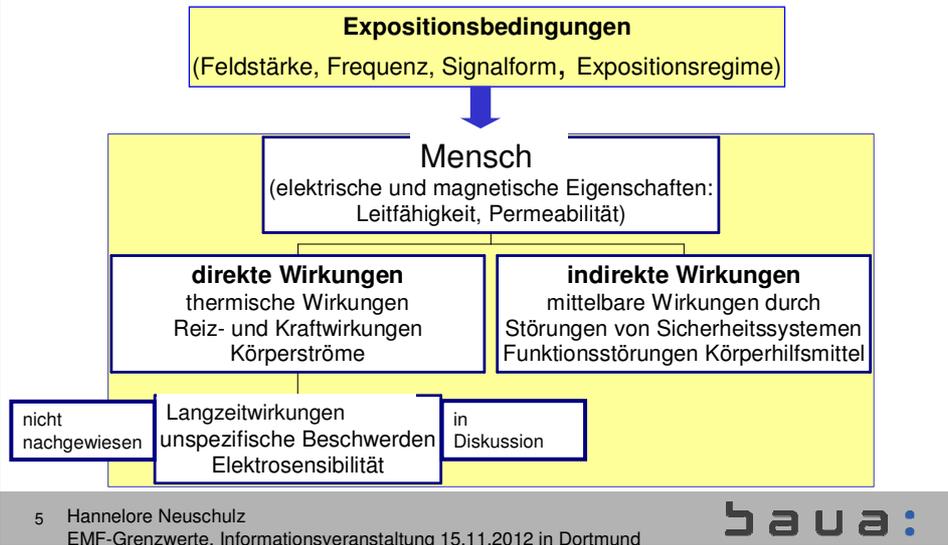
- **Mensch hat keine Sinnesorgane für EMF**
- **Nur Wahrnehmung von Effekten (Reize, Wärme)**
- ➔ **Bewertungen zu EMF (Stärke, Zeitregime) nur mit Messgeräten bzw. Simulationsverfahren möglich**



## Unterschiedliche biologische Wirkungen in verschiedenen Frequenzbereichen



## Ausgangspunkt für Grenzwertfestlegungen: Wirkungen von EMF auf den Menschen



## Welche Effekte und Wirkungen werden bei der Festlegung von Grenzwerten berücksichtigt?

### Statische Felder z. B. Permanentmagnete, Elektrolyse

#### MRT (Gefahr Projektilwirkung!)

- ab ca. 2 T Schwindel, Übelkeit, Geschmackssensationen möglich, reversibel, u. a. abhängig von Bewegung im Feld
- bis ca. 8 T bei Beachtung von Grenzwerten und Sicherheits-, Gesundheitsvorschriften keine ernsthaften gesundheitsschädlichen Wirkungen

#### Gradientenfelder MRT

- Induktion von Strömen im Körper, Nervenreizungen

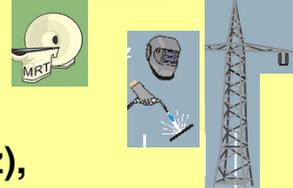
#### Radiofrequenzfelder MRT

- Gewebeerwärmung, besonders empfindlich: Augen  
Gefahr: Hot spots!

**Beim offenen MRT stärkere Effekte für Personal möglich!**

Welche Effekte und Wirkungen werden bei der Festlegung von Grenzwerten berücksichtigt?

### Niederfrequente Wechselfelder



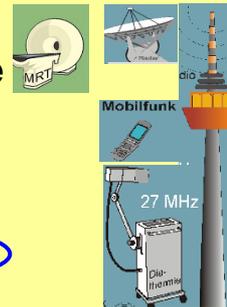
- Stimulation von Sinnesorganen, Nerven, Muskeln (Extremfall Herz),  
MRT : < 10 Hz Schwindel (Innenohr)  
ca. 10 – 50 Hz, 2 - 10 mT: Phosphene (Retina)  
ab ca. 50 Hz: Willkürreaktionen (Nerven, Muskeln)

Untersuchungen an Nervenfasern, mit Probanden:  
Schwellenwert für periphere Nervenstimulation:  
Spitzenwert el. Feldstärke im Gewebe 6 - 7 V/m

Welche Effekte und Wirkungen werden bei der Festlegung von Grenzwerten berücksichtigt?

### Hochfrequente Wechselfelder

- Thermische Wirkungen im Gewebe
  - Störungen des Stoffwechsels,
  - Änderung der Reaktionen
  - Verbrennungen im Körper
- SAR > 20 W/kg**
- Kataraktbildung im Auge
  - Mikrowellenhören (thermoelastischer Effekt): starke Impulse < 30  $\mu$ s



Temperaturerhöhung < 1K: Schwellenwert der  
Spezifischen Absorptionsrate **SAR 4 W/kg**

## Spezifische Absorptionsrate SAR

Maßeinheit für die vom Körper aufgenommene Energie elektromagnetischer Felder

**SAR (W/kg) = im Gewebe absorbierte Leistung (W)/Gewebemasse (kg)**

**Ganzkörper SAR von ca. 4 W/kg**

➔ **Temperaturerhöhung**

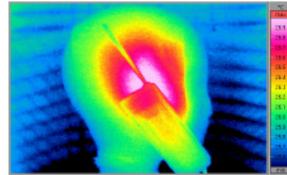
**geringer als 1 K –**

**wird vom gesunden Körper**

**toleriert**



**Schwellenwert**



Unterscheidung: Ganzkörper-SAR, Teilkörper-SAR wichtig!

Zum Vergleich: Bei Muskelarbeit 3 bis 5 W/kg möglich  
Regulation durch Blutfluss, Schwitzen

## Welche Bedeutung hat ein Schwellenwert?

**Unterhalb Schwellenwert keine gesundheitsschädliche Wirkung!**

Schwellenwerte sind individuell unterschiedlich!

Schwellenwerte sind von vielen Faktoren abhängig  
wie Orientierung Körper zum Feld, Erdung, Feuchtigkeit von Haut/Kleidung, Wassergehalt Gewebe, Empfindlichkeit

Wichtige Schwellenwerte:

- für periphere Nervenstimulation: Peak  $E_{\text{int}}$  6 - 7 V/m
- für unzulässige Gewebeerwärmung: SAR 4 W/kg

**Grenzwerte müssen einen Sicherheitsfaktor in Bezug auf die Schwellenwerte berücksichtigen!**

## Schutz vor gesundheitsschädlichen Wirkungen durch EMF Wer erarbeitet die Grundlagen für Grenzwerte?

- Erarbeitung der Grundlagen – komplexe Problematik:  
Zusammenarbeit von Physikern, Medizinern, Biologen,  
Epidemiologen, Psychologen, Statistikern, (Elektro)Ingenieuren
- National in Deutschland:  
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (IFA),  
Berufsgenossenschaften (BG ETEM),  
staatliche Institutionen (BMAS, BAuA, BMU, BfS),  
staatlich beauftragte wissenschaftliche Fachgremien (SSK)
- International: WHO,  
Bioelectromagnetic Society (BEMS),  
Europäisches Forschungsnetzwerk (COST),  
European BioElectromagnetics Association (EBEA)  
International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection  
(ICNIRP)

## Welche Grundlagen haben Grenzwerte für EMF?

- Basis:  
Gesamtheit aller standardgerechten  
wissenschaftlichen Arbeiten zur  
Gesundheitsproblematik (Prüfung!)
- Forschungen in vitro, in vivo (Zelle, Tiere,  
Pflanzen, Menschen), epidemiologische  
Untersuchungen (Einordnung!)

Welche Kriterien gibt es für die Festlegung von Grenzwerten?

- Führt der nachgewiesene Effekt zu einer biologischen Wirkung bzw. gesundheitlichen Schädigung?  
(Langzeitwirkungen wie Bildung von Karzinomen nicht nachgewiesen, auch kein Wirkungsmechanismus bekannt)
- Grenzwertfestlegungen berücksichtigen nur gesicherte Wirkungen!
- **Grenzwerte liegen unterhalb der Werte nachgewiesener Wirkungen!**

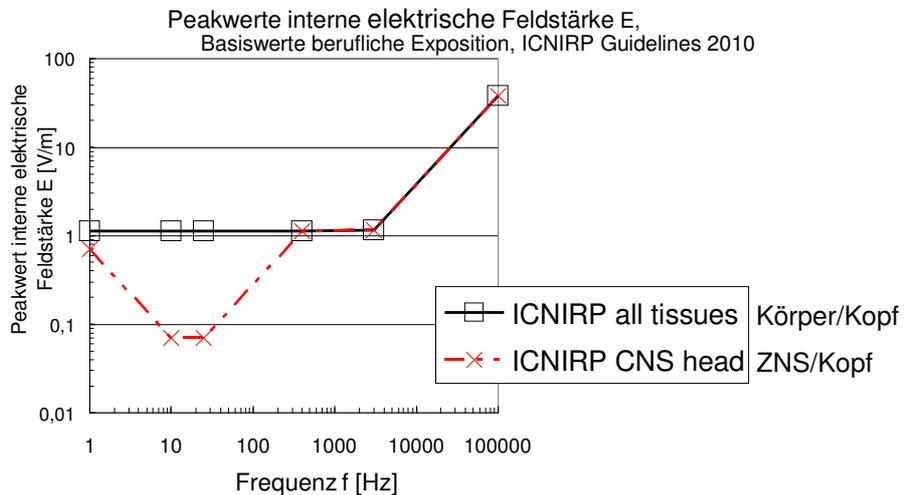
Unterschiedliche rechtliche Regelungen für Arbeitsplätze und für die allgemeine Bevölkerung

**Unfallverhütungsvorschrift  
BGV B 11  
„Elektromagnetische  
Felder“  
vom 01. Juni 2001,  
zugehörige Regel BGR B11  
(Berufsgenossenschaft für  
Feinmechanik und  
Elektrotechnik)**

**Sechszwanzigste  
Verordnung zur  
Durchführung des Bundes-  
Immissionsschutzgesetzes  
(Verordnung über  
elektromagnetische Felder  
– 26. BImSchV)  
vom 16.12.1996  
(zurzeit in Überarbeitung)**

**Berücksichtigung unterschiedlicher Sicherheitsfaktoren!**

## Induziertes elektrisches Feld im Gewebe als Basisgröße zur Grenzwertfestlegung (aktuell)



## SAR als Basisgröße für Grenzwertfestlegungen

| Ganzkörperexposition (Wirkung auf den gesamten Körper)     | Ganzkörper SAR in W/kg |
|--|------------------------|
| Gesundheitsgefahren möglich:<br>Temperaturerhöhungen > 1 K | > 4                    |
| Keine Gesundheitsgefahren:<br>Temperaturerhöhungen < 1 K   | 1 - 4                  |
| Nicht spürbare Temperaturerhöhung                          | 0,1                    |

| Lokale Exposition (Teilkörper)                                  | Teilkörper SAR in W/kg |
|---|------------------------|
| Gesundheitsgefahren möglich:<br>Lokale Temperaturerhöhung > 1 K | > 10                   |
| Keine Gesundheitsgefahren:<br>Kaum Temperaturerhöhung << 1K     | < 2                    |

## Erläuterung Grenzwertproblematik am Beispiel der Mobilfunkforschung (TETRA)

- Mobiltelefone: extrem körpernahe Feldquellen (Kopfbereich, reine Nahfeldexposition)
- niederfrequente Pulsung des Hochfrequenzsignals
- keine Kontrolle der verschiedenen Expositionsbedingungen
- sehr hohe Zahl von Exponierten in allen Altersgruppen und Gesundheitszuständen
- Beeinflussungsmöglichkeit von elektronischen Lebenshilfen (z. B. Herzschrittmacher)

17 Hannelore Neuschulz  
EMF-Grenzwerte, Informationsveranstaltung 15.11.2012 in Dortmund

baua:

## Probandenexposition für Felder von Mobilfunk (TETRA 25) im Faradayraum

Experimentelle Untersuchungen der BAuA



2 Versuchsserien:

1. Serie: Generische Antennen  
380 MHz, 17 Hz gepulst
2. Serie: TETRA-Funktelefon

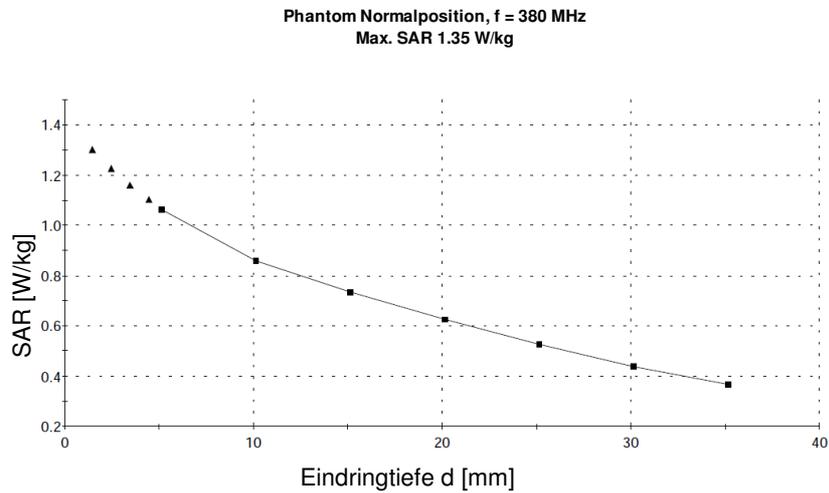
**Helm** mit verstellbarer Halterung für Mobiltelefonnachbildungen rechts und links am Kopf „intended use position“) nach CENELEC, 1996

**Signalzuführung** extern über Kombination aus Signalgenerator und Leistungsverstärker

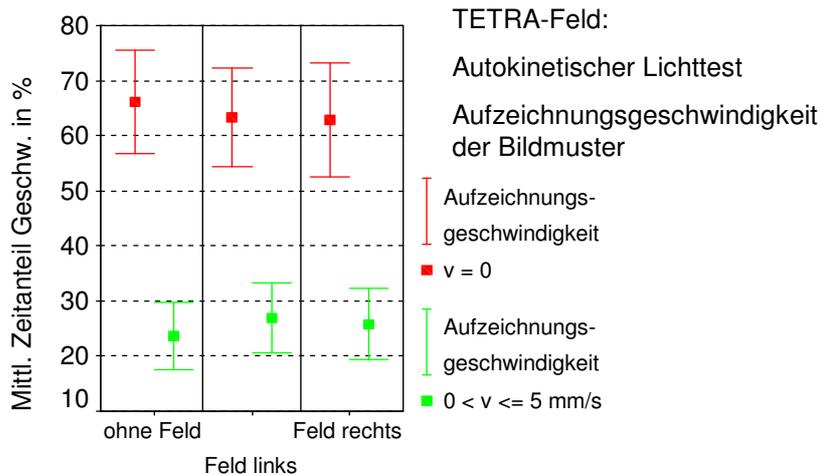
18 Hannelore Neuschulz  
EMF-Grenzwerte, Informationsveranstaltung 15.11.2012 in Dortmund

baua:

## SAR-Messung TETRA-Feld (TETRA 25, BOS)



## Statistische Auswertung: Vergleich der Reaktionen mit und ohne Feld des Mobiltelefons (Beispiel)



## Ergebnisse der BAuA-Untersuchungen zur Wirkung von TETRA-Feldern eines Mobiltelefons

- **Kein Einfluss auf Gesundheit und Wohlbefinden**
- **Keine Wahrnehmung der Felder der Mobiltelefone durch die Versuchspersonen**
- **Ergebnisse stimmen mit denen des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms des BfS (2008) und mit dem weltweit anerkannten Stand überein**

## Wissenschaftlicher Kenntnisstand

- Grad der Besorgnis bezüglich Mobilfunk in den letzten Jahren stabil
- Keine Bestätigung von Hinweisen auf gesundheitsrelevante Wirkungen von HF-Feldern  
(Studien: Schlaf, Immunparameter, Hirnleistung, Blut-Hirn-Schranke, Fortpflanzung, Reizverarbeitung, Tinnitus, Kopfschmerzen, Krebs)
- Offene Fragen:  
Langzeitnutzung (epidemiologische Studien, Wirkungsmechanismen), Wirkung bei Kindern
- **Kein Anlass zur Korrektur bestehender Grenzwerte**  
**s. auch unter [bfs.de](http://bfs.de)**

## Forschung zu Langzeitwirkungen: Epidemiologische Untersuchungen

- Untersuchung von Ursachen und Folgen sowie der Verbreitung von gesundheitsbezogenen Zuständen und Ereignissen in der Bevölkerung bzw. in Gruppen.  
Zum Beispiel wird untersucht, wie stark ein bestimmter Faktor zu einer Erkrankung beiträgt.

## Problematik epidemiologischer Untersuchungen

- Untersuchung von möglichen Langzeit-Wirkungen (kanzerogene Wirkungen):  
sehr viele Einflussfaktoren: genetische und u. U. im Laufe des Lebens arbeits- und/oder umweltbedingte Faktoren, (Störfaktoren wie Autoabgase, Zigarettenrauch, Pflanzenschutzmittel und andere chemische Noxen),  
oft Haupteinflussfaktor nicht extrahierbar,  
Erinnerungsfehler, Auswahlfehler (z. B. Wohnung, sozialer Status), geringe Anzahl Erkrankter

## Kategorien der Strahlenschutzkommission

### **Wissenschaftlicher Hinweis:**

Einzeluntersuchungen weisen auf einen Zusammenhang hin, es liegen keine Bestätigungen durch voneinander unabhängige Studien vor

### **Wissenschaftlicher Verdacht:**

Wissenschaftlich bestätigte Untersuchungsergebnisse zeigen einen Zusammenhang, Beweise für einen kausalen Zusammenhang noch nicht ausreichend gestützt

### **Wissenschaftlicher Nachweis:**

Wissenschaftliche Studien unabhängiger Forschergruppen stützen den Zusammenhang reproduzierbar und kausal (wissenschaftliches Gesamtbild)

## Epidemiologische Studien zu Langzeitwirkungen NF

### Wissenschaftlicher Verdacht

Kinderleukämie bei 50-Hz-Feldern mit mehr als 0,3 bis 0,4  $\mu\text{T}$  im Mittel über längere Zeit

Kinderleukämie: sehr seltene Erkrankung, etwa 3-4 von 100 000 Kindern/Jahr.

Studie Schütz et al. 2009,

falls Zusammenhang bestünde, wären ca. 1% der Kinderleukämiefälle in Europa erklärbar

## Epidemiologische Studien zu Langzeitwirkungen HF

- Epidemiologische Studie „Interphone“: Eventuell begrenzte Hinweise auf erhöhtes Auftreten von Gliomen (häufige Art von Hirntumor) bei sehr intensiver Nutzung eines Mobiltelefons
- Probleme der einzelnen Interphone-Studien: Auswahl Probanden, Befragungen, Recall-Bias (z. B. Dauer der Telefonate)

## Internationale Agentur für Krebsforschung IARC

- IARC: 1965 gegründet, bisher mehr als 900 Bewertungen möglicher karzinogener Stoffe
- Regierungen und Behörden wird unabhängiges Expertenwissen zu möglicherweise krebserregenden Umweltfaktoren zur Verfügung gestellt
- Kategorien:
  - (1) krebserregend
  - (2A) wahrscheinlich krebserregend
  - (2B) möglicherweise krebserregend**
  - (3) nicht klassifizierbar
  - (4) wahrscheinlich nicht krebserregend

## Entscheidung der IARC: NF- und HF Felder „möglicherweise krebserregend“ (2B)

- Bewertung „2B“ für NF in IARC Monographie Nummer 80, 2001  
Hauptgrund: Epidemiologische Studien zu Kinderleukämie
- Bewertung „2B“ für HF in IARC Monographie Nummer 102  
und in The Lancet Oncology, Vol. 12, Issue 7, July 2011
- Auswertung von wissenschaftlichen Veröffentlichungen durch  
Fachleute aus vielen Ländern - weitere Studien nötig  
(Internationaler Verband der Mobilfunkindustrie (CTIA) wies  
Einstufung zurück)
- Zum Vergleich: „möglicherweise krebserregend“  
wurden auch Kaffee und eingelegtes Gemüse eingestuft
- Aber zu beachten (auch von IARC betont):  
**Es existiert kein eindeutiger Nachweis zur karzinogenen  
Wirkung von EMF!**

## Aktueller Stand zu Langzeitwirkungen

- Forderungen zu Grenzwertabsenkungen sind  
wissenschaftlich nicht begründbar.
- Es ist kein biologischer Wirkungsmechanismus  
bekannt, der kanzerogene Wirkungen von EMF  
erklären könnte!
- Auf der Basis des derzeitigen Wissensstandes  
bieten die gegenwärtig geltenden Grenzwerte  
ausreichenden Schutz vor nachgewiesenen  
möglichen Gesundheitsschädigungen.

Schutzkonzept EMF gegen Gefährdungen am Arbeitsplatz durch Einwirkung von EMF im Bereich von 0 bis 300 GHz

- **Berücksichtigt werden Kurzzeiteinwirkungen** (induzierte Ströme, Energieabsorption, Kontaktströme).  
**Nicht berücksichtigt: Langzeitwirkungen, wie mögliche karzinogene Wirkungen**, da Nachweise fehlen

- **Vermeidung von Gesundheitsgefährdungen durch Festlegung von**  
**Expositionsgrenzwerten (Basisgrenzwerten) und Auslösewerten (abgeleitete, messbare Werte)**

**Zweistufiges Schutzkonzept!**

## Gegenwärtige Diskussionen – offene Fragen

Festlegungen des RL-Vorschlages basieren auf Sinus-Signalen (Dauerstrich)

In der betrieblichen Praxis häufig

- gepulste Felder
- lokale Exposition durch körpernahe EMF-Quellen
- mehrere EMF-Quellen

➡ Probleme!

außerdem  
technologische Weiterentwicklungen (THz, UWB)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

**Bundesanstalt für Arbeitsschutz  
und Arbeitsmedizin (BAuA)**

Hauptsitz: Friedrich-Henkel-Weg 1-25  
44149 Dortmund

Standort Berlin: Nöldnerstr. 40 - 42  
10317 Berlin

[www.baua.de](http://www.baua.de)

Informationszentrum:  
info-zentrum@baua.bund.de