

# Wirkungen elektromagnetischer Felder auf den Menschen

Dr. Christian Bornkessel

Technische Universität Ilmenau  
Fachgebiet HF- und Mikrowellentechnik  
Postfach 10 05 65, 98684 Ilmenau  
[christian.bornkessel@tu-ilmenau.de](mailto:christian.bornkessel@tu-ilmenau.de)



# Vorstellung Dr. Bornkessel

- Seit 03/14: TU Ilmenau, Fachgebiet Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik
- 11/95-02/14: IMST GmbH, Leiter Prüfzentrum
- Fokus: Erfassung und Bewertung von hochfrequenten (HF) und niederfrequenten (NF) Immissionen
- Mitglied der Deutschen Strahlenschutzkommission (SSK)



# Organisatorisches

- Wann: Mo 15.00-16.30 Uhr, ab 03.04.2023
- Wie: Präsenz-Veranstaltung im Raum H 2507
- Leistungspunkte: 5 ECTS
- Praktikum:
  - Gerätepraktikum Spektrumanalysator und Selective Radiation Meter NARDA SRM-3006
  - Eigenständige Immissionsmessungen auf dem Unigelände
- mündliche Prüfung 30 Minuten



# Motivation



# Motivation (2)





# Motivation (3)



# Übersicht Themenbereich EMVU (1)

- I. Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung im HF-Bereich
  - Wie werden sie gebildet?
  - Umsetzung in Deutschland
  - Aktueller Stand der biologischen Forschung im HF-Bereich
  - Biologische Untersuchungsmethoden und ihre Grenzen
  
- II. Wie werden HF-Immissionen korrekt gemessen (1)?
  - Arten von Immissionsmessungen
  - Örtliche und zeitliche Feldverteilung und Konsequenzen
  - Funktionsweise des Spektrumanalysators
  - Korrekte messtechnische Erfassung:
    - Rundfunk: UKW, DVB-T, DAB
    - Mobilfunk: GSM, TETRA, LTE, 5G



# Übersicht Themenbereich EMVU (2)

## II. Wie werden HF-Immissionen korrekt gemessen (2)?

- Typische Messergebnisse
- Ableitung von Einflussfaktoren für die Immission
- Messbericht

## III. Berechnungsmöglichkeiten

- Standortverfahren der Bundesnetzagentur
- Datenbank für Sendeanlagen und Immissionsmessungen
- Kommerzielle Prognosetools und ihre Grenzen

## IV. Elektrische und magnetische Felder der elektrischen Energieversorgung

- Hochspannungsleitungen und -kabel, HWÜ, HGÜ
- Bevölkerungsschutzgrenzwerte im NF-Bereich
- Derzeitiger Stand der Forschung





# Literatur

- Deutsche Strahlenschutzkommission (SSK), „Elektromagnetische Felder des Mobilfunks im Zuge des aktuellen 5G-Netzausbaus – Technische Aspekte und biologische Wirkungen im unteren Frequenzbereich (FR1, bis ca. 7 GHz)“, 2021
- LUBW Baden Württemberg / LfU Bayern, „Elektromagnetische Felder im Alltag“, 2020.
- LUBW Baden Württemberg, „Mobilfunk und 5G“, 2021
- Leitgeb: Machen elektromagnetische Felder krank? 3. Auflage, Springer, 2000.
- ECOLOG-Institut: “Elektromagnetische Felder: Quellen, Risiko, Schutz”, ECOLOG, 2006.



# Teil I

## Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung im HF-Bereich



Quelle: lscv.ch



Quelle: siric-brio.com

# Überblick Teil I

## 1. Grenzwertphilosophie

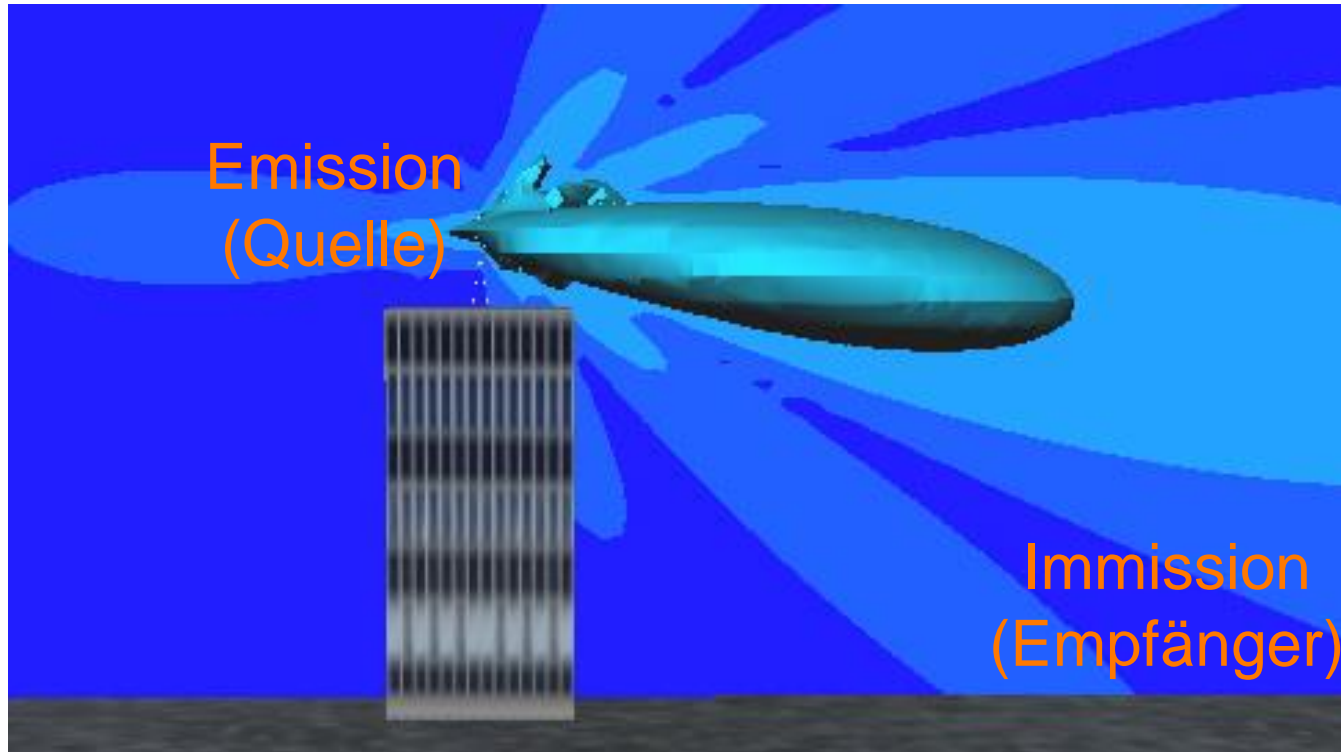
- Wer macht die Grenzwerte?
- Wie werden Grenzwerte gebildet?
- Wie sind sie in Deutschland umgesetzt?
- Andere Länder – andere Grenzwerte?

## 2. Sind die Grenzwerte noch zeitgemäß?

- Aktueller Stand der biologischen Forschung im HF-Bereich
- Biologische Untersuchungsmethoden

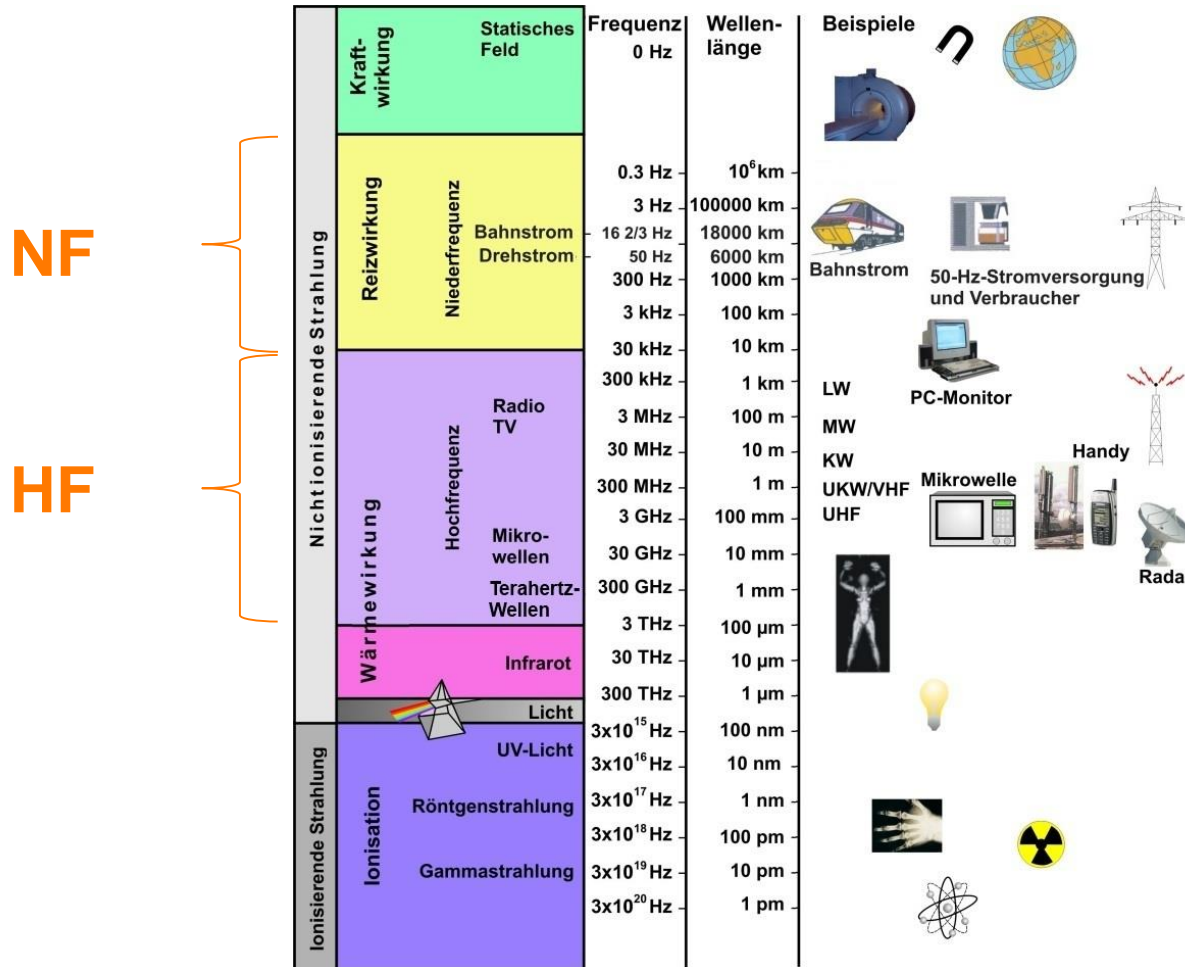


# Emission und Immission



- Bevölkerungsschutzgrenzwerte sind in der Regel *Immissionsgrenzwerte*

# Elektromagnetisches Spektrum



Quelle: EMF-Portal





# 1. Wer „macht“ die Grenzwerte?

- Die Grenzwerte werden durch den Gesetzgeber erlassen.
- In Deutschland ist das Umweltministerium (BMUB) zuständig, das von der SSK beraten wird.



# Wie werden Grenzwerte gemacht?

- Die derzeitigen Grenzwerte basieren auf Empfehlungen der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
- Unabhängiges wissenschaftliches Expertengremium
- Non-profit Organisation, keine Industriefinanzierung
- ICNIRP 1998 "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", Health Physics 74(4): 494-522; 1998
- ICNIRP 2020 "Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz) ", Health Physics 118(5):483-524; 2020 (noch nicht in nationale Gesetzgebung eingeflossen)

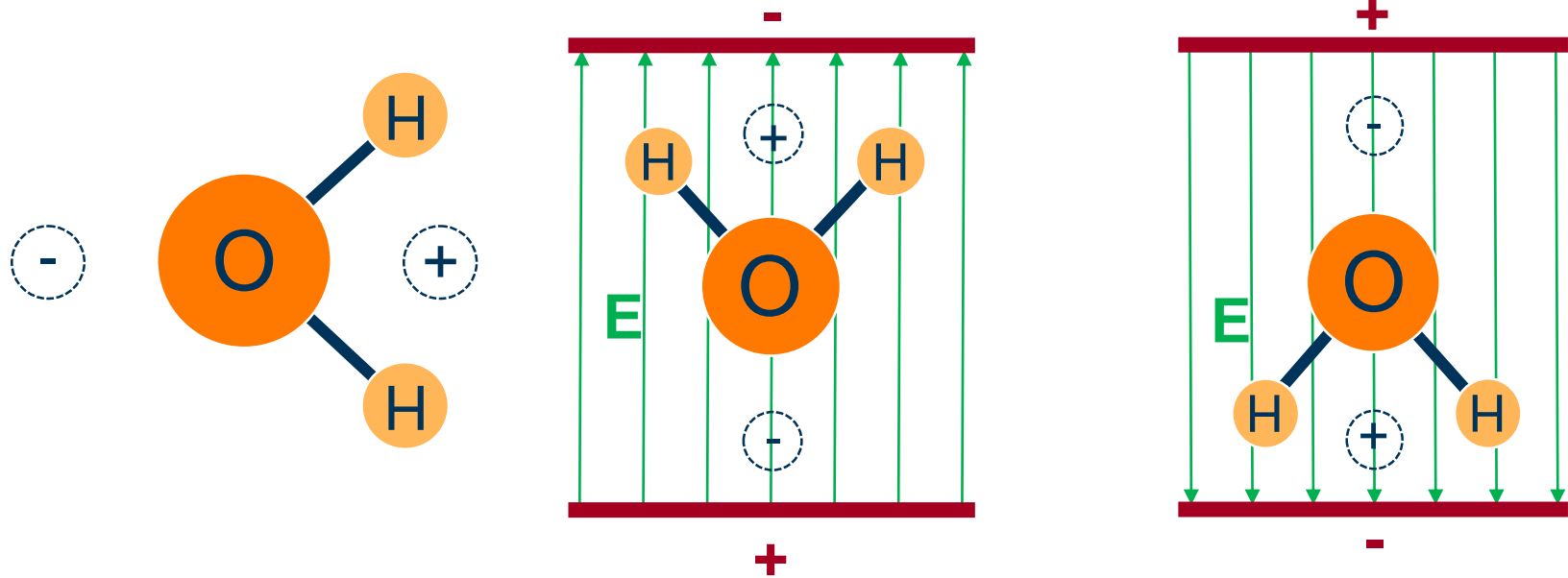


# Kopplungsmechanismen im HF-Bereich

- Direkte Kopplung zwischen Feld und Körper
  - EMF über 100 kHz können zu einer signifikanten Absorption und Temperaturerhöhungen führen
  - Temperaturerhöhung ist der empfindlichste (zuerst einsetzende) Effekt
  - **Temperaturerhöhung von mehr als 1-2°C kann negative gesundheitliche Auswirkungen haben**
  - Zwischen 100 kHz und 10 MHz zusätzlich Nerven- und Muskelstimulationen durch induzierte Ströme
- Indirekte Kopplung
  - Kontaktströme z.B. bei Berührung ungeerdeter metallischer Objekte in EMF (Schock, Verbrennungen)
  - Einkopplung der EMF in Medizingeräte wie z.B. Herzschrittmacher, ... (EMV Probleme)



# Wärmeeffekt



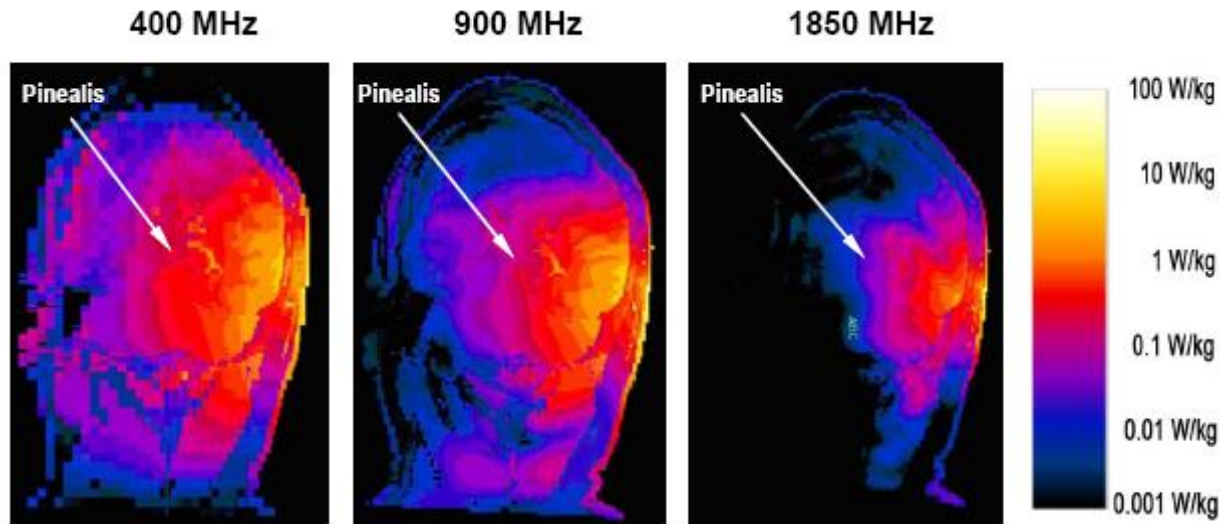
- Der menschliche Körper besteht zu über 70 % aus Wasser.
- Die Wassermoleküle besitzen Dipolcharakter und richten sich in einem elektrischen Feld aus.
- In einem HF-Feld werden die Dipole permanent umorientiert und absorbieren Energie. Es entsteht Reibungswärme.

# ICNIRP-Basisgrenzwert

- Energieabsorption wird durch "Spezifische Absorptionsrate" (**SAR**) [W/kg] beschrieben
- Ganzkörper-SAR von 4 W/kg über 30 min führt zu Temperaturerhöhungen von weniger als 1°C
- Sicherheitsfaktor von 50 für Allgemeinbevölkerung:  
Ganzkörper-SAR Grenzwert 0,08 W/kg  
("Basisgrenzwert")
- Höhere Werte für lokale SAR bis 6 GHz
  - Kopf/Rumpf: 2 W/kg, Gliedmaßen: 4 W/kg
  - gemittelt über 10 g zusammenhängendes Gewebe (Auge)



# SAR-Verteilung, reales Kopfmodell



Ungemittelte SAR-Verteilung, normiert auf 1 W Sendeleistung,  
generische Telefonmodelle mit resonanten Monopolantennen

Quelle: ARC Seibersdorf research, Expositionsverteilung unter Berücksichtigung kleiner Strukturen,  
Studie für BfS, 2006

- abnehmende Eindringtiefe bei steigender Frequenz
- heterogene SAR-Verteilung durch Gewebestruktur

# SAR-Messplatz

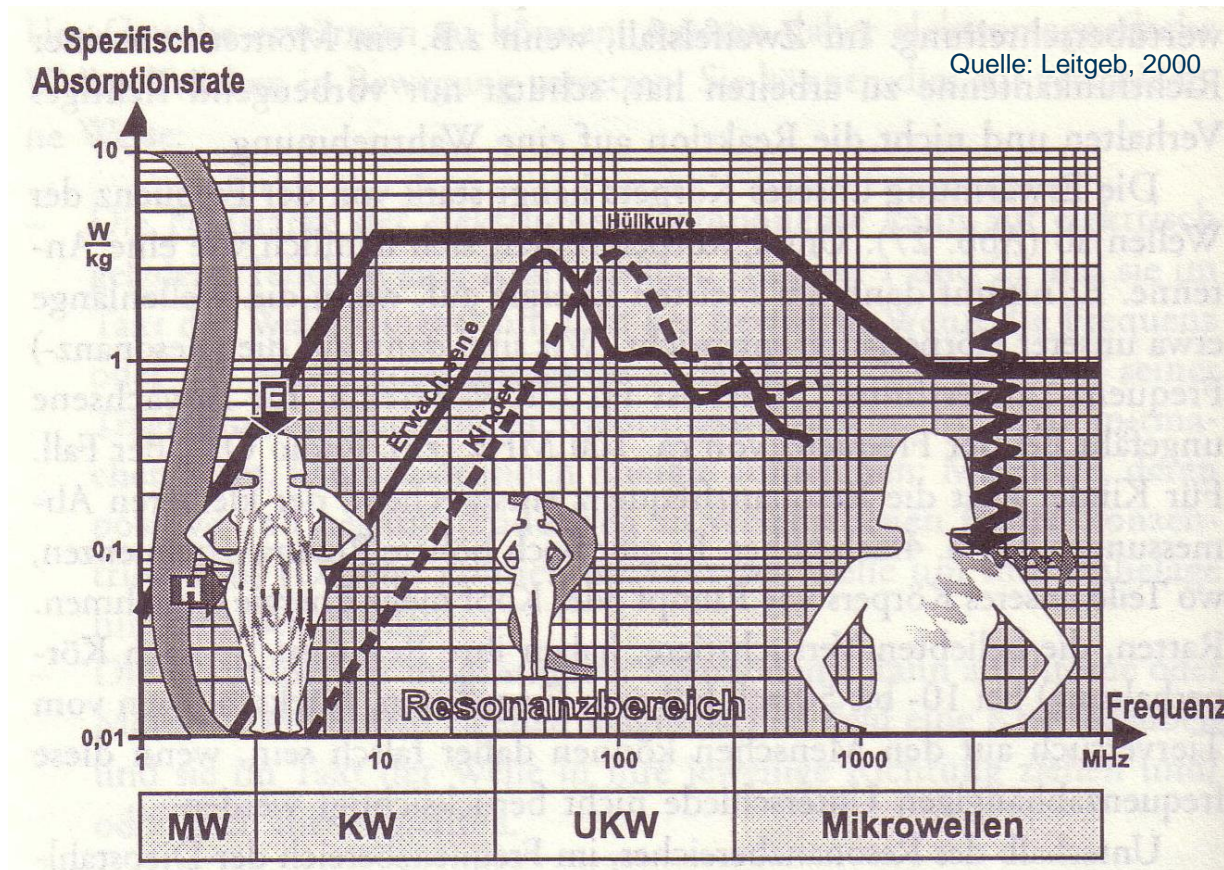


# ICNIRP-Referenzwerte

- SAR ist im Feld schwer zu messen
- ICNIRP definiert auch "Referenzwerte" = Feldwerte außerhalb des menschlichen Körpers:
  - elektrische/magnetische Feldstärken E/H
  - Leistungsflussdichte S
- Referenzwerte werden aus den Basisgrenzwerten für maximale Kopplungsbedingungen der Felder in den Körper ermittelt
  - Einhaltung der Referenzwerte sichert Einhaltung der Basisgrenzwerte (Achtung: Ausnahmen bei Kindern!)
  - Überschreitung der Referenzwerte erfordert spezielle SAR-Bewertungen



# Ableitung der Referenzwerte



SAR bei homogener Exposition mit  $S=100 \text{ W/m}^2$

# SAR-Verteilung, reales Körpermodell

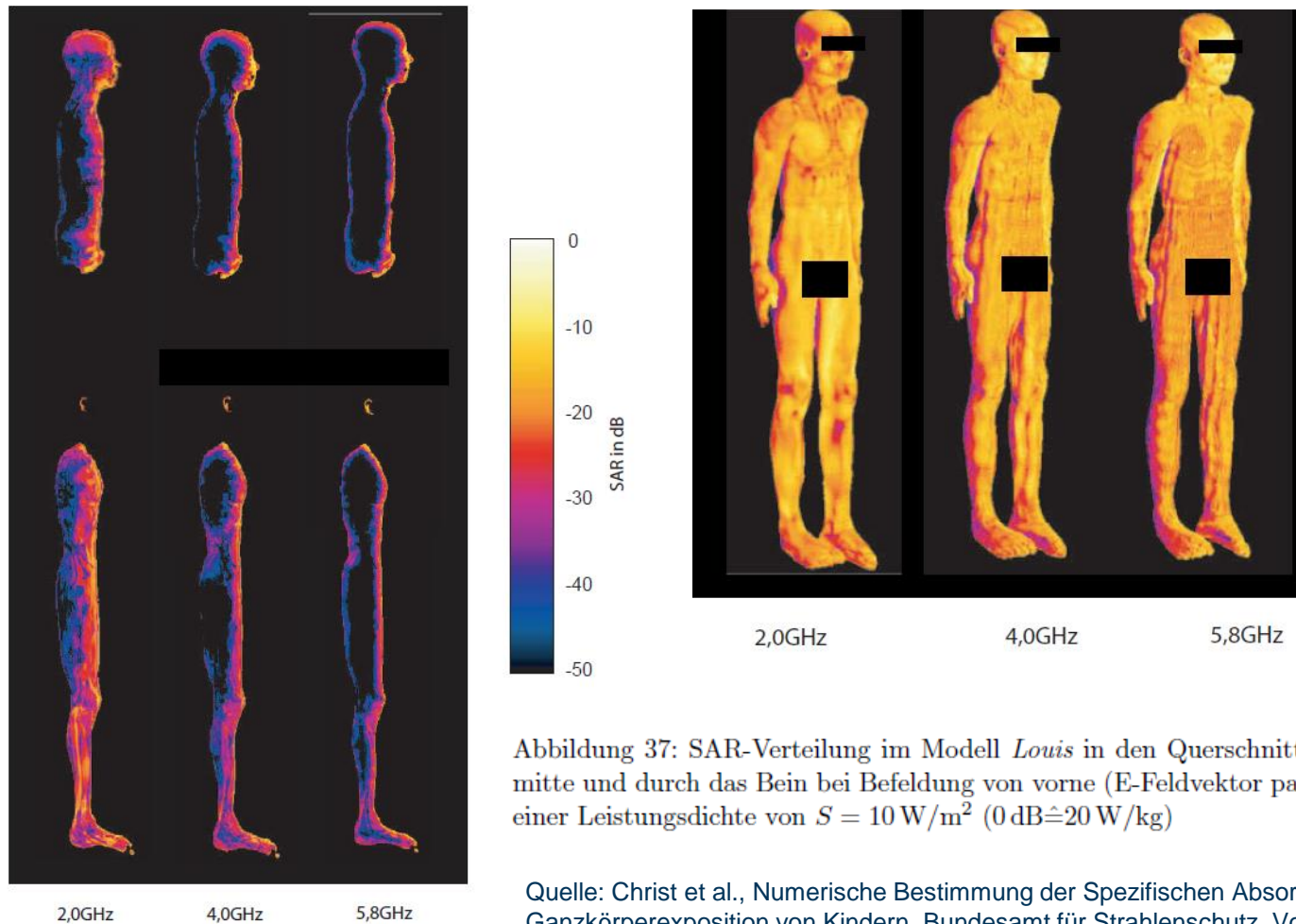


Abbildung 37: SAR-Verteilung im Modell *Louis* in den Querschnittsflächen durch die Körpermitte und durch das Bein bei Befeldung von vorne (E-Feldvektor parallel zur Körperachse) und einer Leistungsdichte von  $S = 10 \text{ W/m}^2$  ( $0 \text{ dB} \hat{=} 20 \text{ W/kg}$ )

Quelle: Christ et al., Numerische Bestimmung der Spezifischen Absorptionsrate bei Ganzkörperexposition von Kindern, Bundesamt für Strahlenschutz, Vorhaben 3606S04517, 2010.



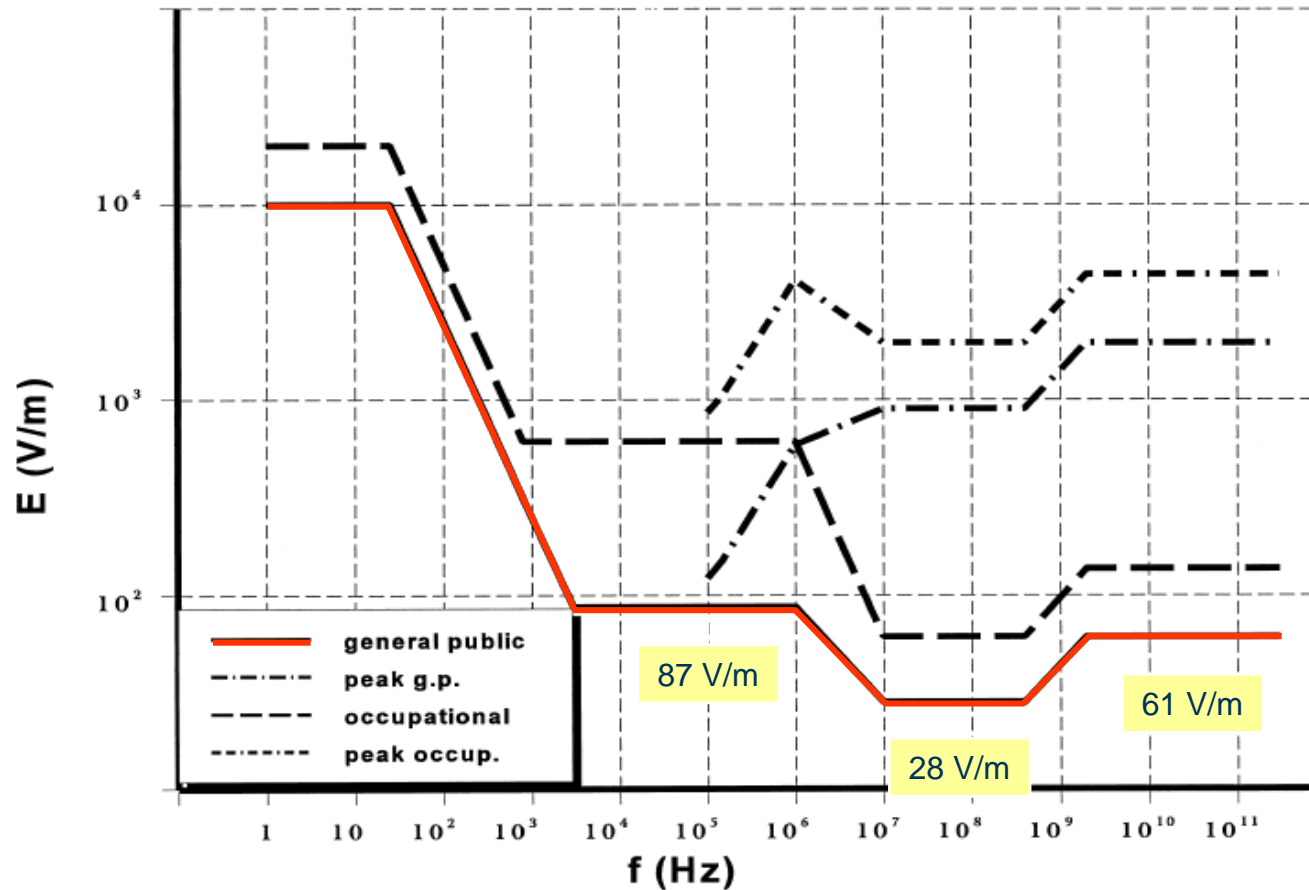
# Berufliche Exposition

- Höhere Grenzwerte für berufliche Exposition:
  - Erwachsene, unter bekannten Bedingungen exponiert
  - sind sich eines potenziellen Risikos bewusst und können geeignete Vorkehrungen treffen
- Sicherheitsfaktor für Basisgrenzwert reduziert auf 10 (anstatt 50 für Allgemeinbevölkerung)
  - SAR: 0,4 W/kg Ganzkörper, 10 W/kg Kopf und Rumpf, 20 W/kg Gliedmaßen (gemittelt über 10 g zusammenhängendem Gewebe)

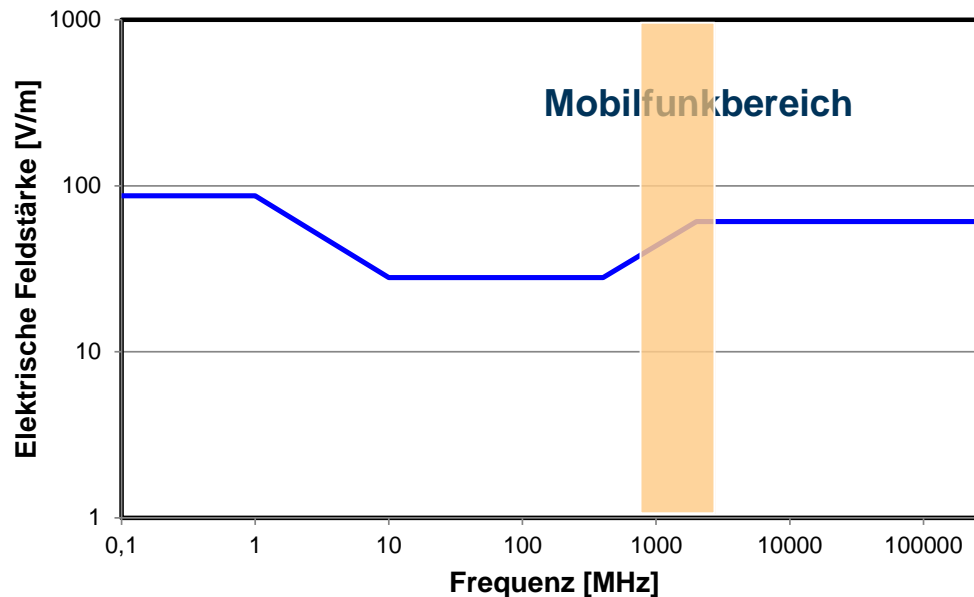


Quelle: Narda Safety Test Solutions

# ICNIRP 98-Referenzwerte für E-Feld



# Referenzwerte im Mobilfunkbereich (BS)



## Mobilfunkbereich (Basisstationen)

Standard	Elektrische Feldstärke	Leistungsflussdichte
LTE 800	38,6 V/m	4,0 W/m <sup>2</sup>
GSM/LTE 900	41,7 V/m	4,6 W/m <sup>2</sup>
LTE 1800	58,4 V/m	9,0 W/m <sup>2</sup>
LTE/5G 2100	61,0 V/m	10,0 W/m <sup>2</sup>
LTE 2600	61,0 V/m	10,0 W/m <sup>2</sup>
5G 3600	61,0 V/m	10,0 W/m <sup>2</sup>

- Für HF-Anlagen gelten die Grenzwerte der 26. BImSchV
- Grenzwerte basieren auf ICNIRP-Empfehlungen 1998 (unverändert in aktueller ICNIRP 2020)
- Grenzwerte sind frequenzabhängig, da Resonanzwirkungen

# Relevante Zusatzbedingungen (1)

- E, H und S Grenzwerte sind RMS Werte, d.h.
- Für 100 kHz - 10 GHz sind S,  $E^2$  und  $H^2$  über beliebige 6-Minuten-Perioden zu mitteln
- Spitzenwerte bei  $f > 10$  MHz (z.B. Radar) dürfen  $1.000 \times S$  (bzw.  $32 \times E$ ) nicht überschreiten
- Für den Arbeitsschutz wird ein geringerer Sicherheitsfaktor (10 statt 50) angesetzt
- Bei gleichzeitiger Exposition mit mehreren Frequenzen sind die grenzwertbezogenen Immissionen geeignet aufzusummieren (Unterschied zu EMV!!)

# Mehrfachexposition

unter 10 MHz

$$\sum_{i=1 \text{ Hz}}^{1 \text{ MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1, \quad (7)$$

and

$$\sum_{j=1 \text{ Hz}}^{65 \text{ kHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>65 \text{ kHz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1, \quad (8)$$

where

- $E_i$  = the electric field strength at frequency  $i$ ;
- $E_{L,i}$  = the electric field reference level from Tables 6 and 7;
- $H_j$  = the magnetic field strength at frequency  $j$ ;
- $H_{L,j}$  = the magnetic field reference level from Tables 6 and 7;
- $a = 610 \text{ V m}^{-1}$  for occupational exposure and  $87 \text{ V m}^{-1}$  for general public exposure; and
- $b = 24.4 \text{ A m}^{-1}$  ( $30.7 \mu\text{T}$ ) for occupational exposure and  $5 \text{ A m}^{-1}$  ( $6.25 \mu\text{T}$ ) for general public exposure.

induzierte Stromdichte  
→ lineare (Feld) Summation

100 kHz – 300 GHz

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}}\right)^2 \leq 1, \quad (9)$$

and

$$\sum_{j=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{H_j}{d}\right)^2 + \sum_{j>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}}\right)^2 \leq 1, \quad (10)$$

where

- $E_i$  = the electric field strength at frequency  $i$ ;
- $E_{L,i}$  = the electric field reference level from Tables 6 and 7;
- $H_j$  = the magnetic field strength at frequency  $j$ ;
- $H_{L,j}$  = the magnetic field reference level from Tables 6 and 7;
- $c = 610/f \text{ V m}^{-1}$  ( $f$  in MHz) for occupational exposure and  $87/f^{1/2} \text{ V m}^{-1}$  for general public exposure; and
- $d = 1.6/f \text{ A m}^{-1}$  ( $f$  in MHz) for occupational exposure and  $0.73/f$  for general public exposure.

Gewebeerwärmung  
→ quadratische (Leistung) Summation



## Relevante Zusatzbedingungen (2)

- Im Fernfeld genügt E oder H oder S Bewertung
- Referenzwerte sollen räumlich über den gesamten Körper der exponierten Person gemittelte Werte sein (*aber lokale SAR darf nicht überschritten werden!!*  
*In realen Expositionsszenarien mit Mehrwegeausbreitung kann auch im Fernfeld die lokale SAR begrenzender sein als die Ganzkörper-SAR)*
- Da ICNIRP ein Sicherheitsstandard ist, sollte die "worst case" Situation betrachtet werden (z.B. bezüglich zeitlicher und lokaler Feldschwankungen)

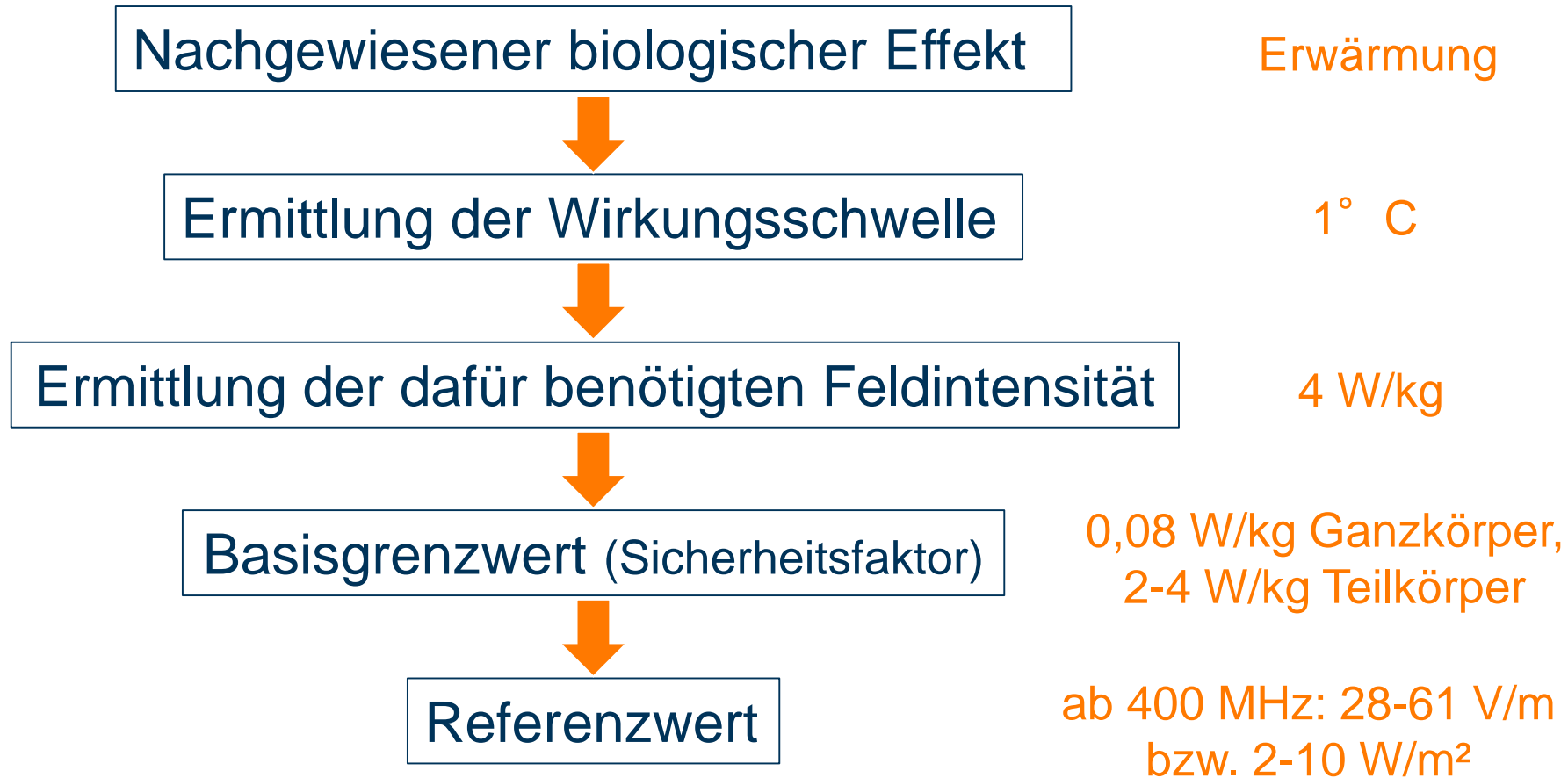


# Umsetzung der ICNIRP-Grenzwerte (Allgemeinbevölkerung)

- Europa
  - Europäische Ratsempfehlung (1999/519/EC):  
„Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)“, Amtsblatt EU L 199, 1999
  - CENELEC Normen für EMV- und R&TTE-Richtlinie
- Deutschland
  - **26. BImSchV**: Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV), BGBl. Jg. 2013 Teil I Nr. 50, 21.08.2013
  - **BEMFV**: Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder, BGBl. Jg. 2002 Teil I Nr. 60, 27.08.2002, zuletzt geändert BGBl. Jg. 2013 Teil I Nr. 50, 21.08.2013



# Zusammenfassung Grenzwertphilosophie



# Wovor schützen die Grenzwerte (1)?

## Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) § 1

- (1) Zweck dieses Gesetzes ist es, **Menschen**, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor **schädlichen Umwelteinwirkungen** zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen.
- (2) Soweit es sich um genehmigungsbedürftige Anlagen handelt, dient dieses Gesetz auch ... dem Schutz und der Vorsorge gegen Gefahren, erhebliche Nachteile und **erhebliche Belästigungen**, die auf andere Weise herbeigeführt werden.

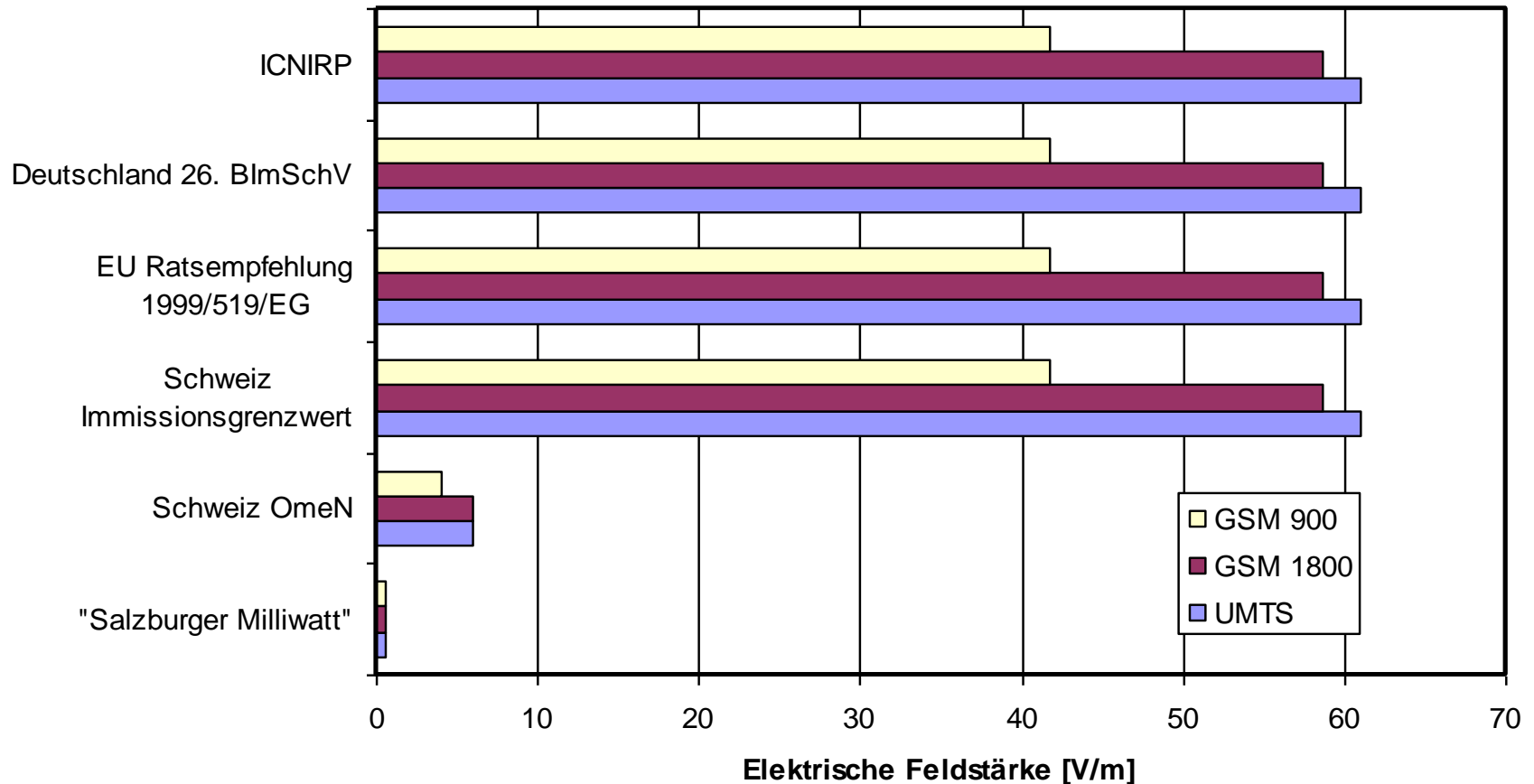
# Wovor schützen die Grenzwerte (2)?

## 26. BImSchV § 2

- (1) Zum **Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen** sind Hochfrequenzanlagen mit einer äquivalenten isotropen Strahlungsleistung (EIRP) von 10 Watt oder mehr so zu errichten und zu betreiben, dass in ihrem Einwirkungsbereich ... bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung ... die ... Grenzwerte für den jeweiligen Frequenzbereich unter Berücksichtigung von Immissionen durch andere ortsfeste Hochfrequenzanlagen ... nicht überschritten werden
- Belästigungen / Vorsorge im Hochfrequenzbereich nicht thematisiert



# Andere Länder – andere Grenzwerte?





# Schweizer Anlagegrenzwert

- Der mit den ICNIRP-Empfehlungen identische *Immissionsgrenzwert* gilt überall und ohne Einschränkungen
- An so genannten "Orten mit empfindlicher Nutzung" (Wohnräume, Kinderspielplätze usw.) gelten so genannte *Anlagengrenzwerte*
- Die Anlagengrenzwerte (AGW) betragen für Mobilfunkanlagen bezüglich der Feldstärke etwa 1/10 der ICNIRP-Werte
- Es ist zu beachten:
  - Die AGW gelten nicht für die Summe der Immissionen, sondern nur für die einer einzelnen Anlage. Sie gewährleisten somit, dass nicht jede einzelne Anlage den Immissionsgrenzwert vollständig ausschöpft.
  - Die Anlagengrenzwerte sind zwar als Vorsorge gedacht, interpretieren den wissenschaftlichen Erkenntnisstand jedoch nicht grundsätzlich anders als die ICNIRP. Sie stellen eher einen Kompromiss aus technisch Möglichem und wirtschaftlich Sinnvollem dar.

# Salzburger Milliwatt

- Auf Empfehlung von Mitarbeitern der Landessanitätsdirektion Salzburg hat die Stadt Salzburg 1998 gefordert, aus Gründen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes einen Summen-Vorsorgewert von  $1 \text{ mW/m}^2$  bei Mobilfunkanlagen einzuführen.
- Dieser Wert stützt sich auf umstrittene Ergebnisse einer *einzelnen* Studie zur Beeinflussung des Schlaf-EEG (Mann u. Röschke, 1996).
- Messungen haben belegt, dass dieser Vorsorgewert in Salzburg nicht eingehalten wird (bis Faktor 40 überschritten).
- Mittlerweile wurde sogar eine Verringerung auf  $1\text{-}10 \text{ }\mu\text{W/m}^2$  gefordert.
- Ein leistungsfähiges Mobilfunknetz ist mit vertretbarem Aufwand bei Einhaltung dieses Wertes nicht zu realisieren.
- Der Salzburger Vorsorgewert ist bislang nirgendwo als Grenzwert etabliert. Seit 2005 wendet Salzburg diesen Wert nicht mehr an.

## 2. Biologische Forschung zum Mobilfunk

- Etablierte und hypothetische Wirkungen
- Grundsätzliche Untersuchungsmethoden
- Ergebnisse zum aktuellen Forschungsstand
- Einige Beispiele im Detail



# Etablierte und hypothetische Wirkungen

Etablierte Wirkung	Wärmewirkung
Hypothetische Wirkungen	<p>Zelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oxidativer Stress/ROS</li> <li>- DNA-Schäden</li> </ul>
	<p>Organ (hier: Gehirn):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blood Brain Barrier</li> <li>- Melatonin</li> <li>- Hirntumoren</li> <li>- Kognition und Gedächtnis</li> <li>- Neurodegenerative Erkrankungen (Alzheimer-Demenz, Amyotrophe Lateralsklerose)</li> </ul>
	<p>Organ (hier: Testes):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spermienqualität</li> </ul>
	<p>Organismus:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- EEG-(Schlafstörungen)</li> <li>- ADHS</li> </ul>

# Aktueller Forschungsstand



- SSK-Empfehlung zu 5G aus dem Jahr 2021
- Technischer und biologischer Teil; hier Review der Literatur der letzten Jahre
- Identifizierung von Forschungsbedarf



# Grundsätzliche Untersuchungsmethoden

- In-Vitro Untersuchungen
- In-Vivo Untersuchungen
  - Laborexperimente am Menschen
  - Laborexperimente am Versuchstier
- Epidemiologische Untersuchungen

# In-Vitro Untersuchungen („Im Reagenzglas“)

- Laborexperiment mit isolierten Zellen, Zellkulturen oder Zellzüchtungen
- vorrangig zur Untersuchung von Wirkmechanismen
- zur Beurteilung von gesundheitlichen Wirkungen nur bedingt geeignet, da
  - zelluläre Veränderungen im Gesamtorganismus ausgeglichen werden können und
  - deshalb die Übertragung auf den Menschen sehr begrenzt ist
- wichtig: Verblindung

# Expositionseinrichtung „REFLEX“



Quelle: 3sat, nano, April 2005



# In-Vivo Untersuchungen (am lebenden Objekt)

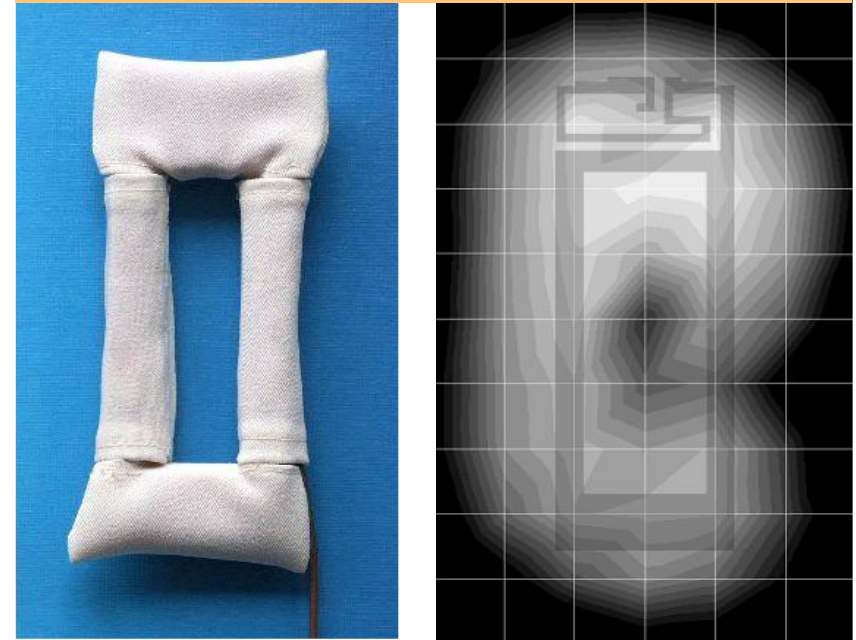
- am Menschen: vorrangig Untersuchung von akuten (kurzzeitigen) Effekten (z.B. EEG, Reaktion usw.)
- am Tier: auch Langzeituntersuchungen (über mehrere Generationen)
- Übertragbarkeit vom Tierversuch auf Menschen problematisch (Exposition z.B. nur bei gleicher organspezifischer Dosis vergleichbar)
- ethische Problematik (vor allem bei Hochdosisexposition und bei Kindern)
- wichtig: doppelte Verblindung

# Beispiel: Laborschlafstudie Charité Berlin

## Tragbare Antenne



## Antenne und Exposition



Quelle: Danker-Hopfe et al., Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen, DMF-Projekt, Abschlussbericht



# Epidemiologische Untersuchungen

- Untersuchung an großen Menschengruppen: Vergleich einer exponierten Menschengruppe mit einer Referenzgruppe

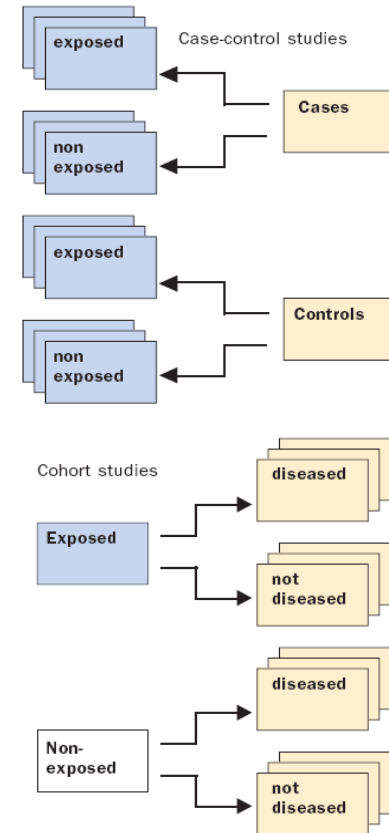
- Häufige Ansätze sind:

## 1. Fall-Kontroll-Studie:

Eine erkrankte Gruppe (Fälle) wird hinsichtlich der Exposition mit einer (gesunden) Kontrollgruppe verglichen, die in allen anderen Eigenschaften äquivalent zur Fallgruppe sein sollte. Auswahl der Kontrollgruppe ist schwierig.

## 2. Kohortenstudie:

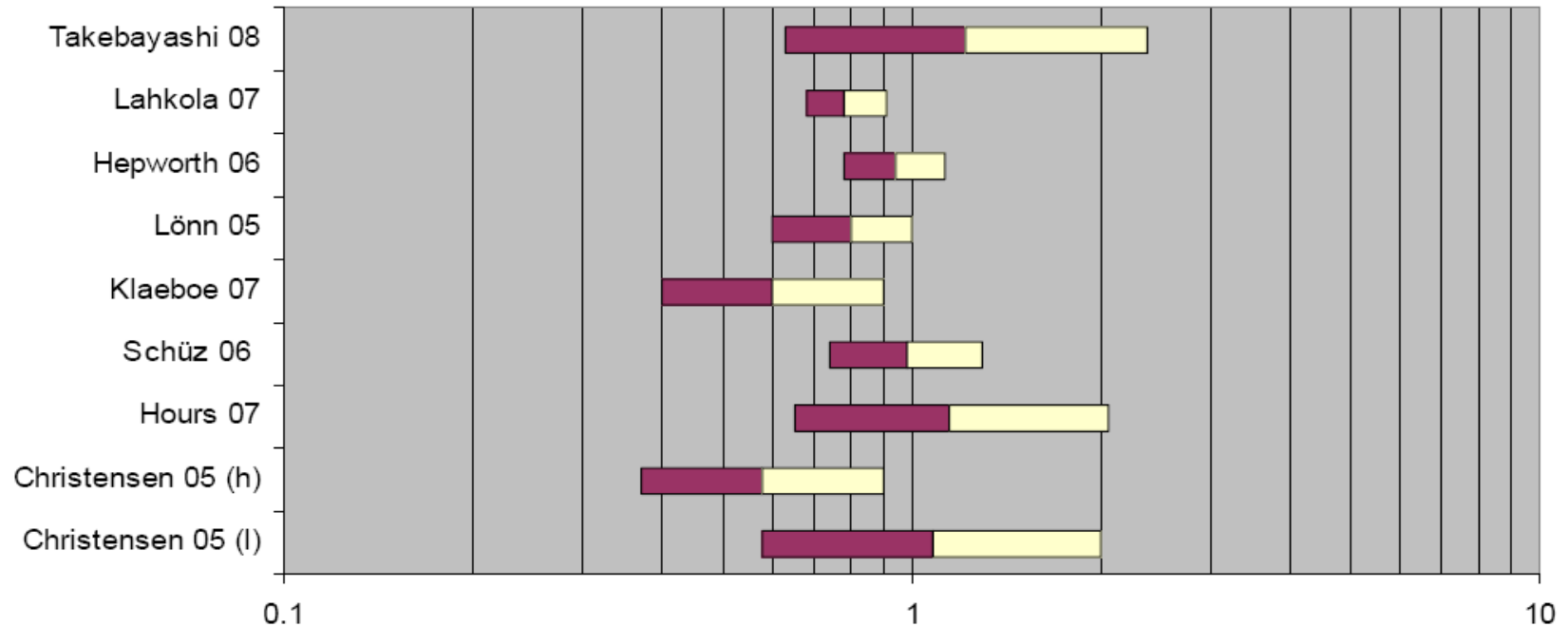
Beobachtung einer exponierten Gruppe und einer nicht exponierten Vergleichsgruppe über einen definierten Zeitraum hinsichtlich des Auftretens einer Krankheit. Bei seltenen Krankheiten ist eine große Personenanzahl notwendig.



# Odds Ratio und Signifikanz

$$\text{Odds Ratio (OR)} = \frac{\text{exponierte Erkrankte}}{\text{nichtexponierte Erkrankte}} / \frac{\text{exponierte Kontrollen}}{\text{nichtexponierte Kontrollen}}$$

OR < 1: protektiver Effekt; OR > 1: schädigender Effekt  
signifikant: Konfidenzintervall beinhaltet NICHT die OR=1

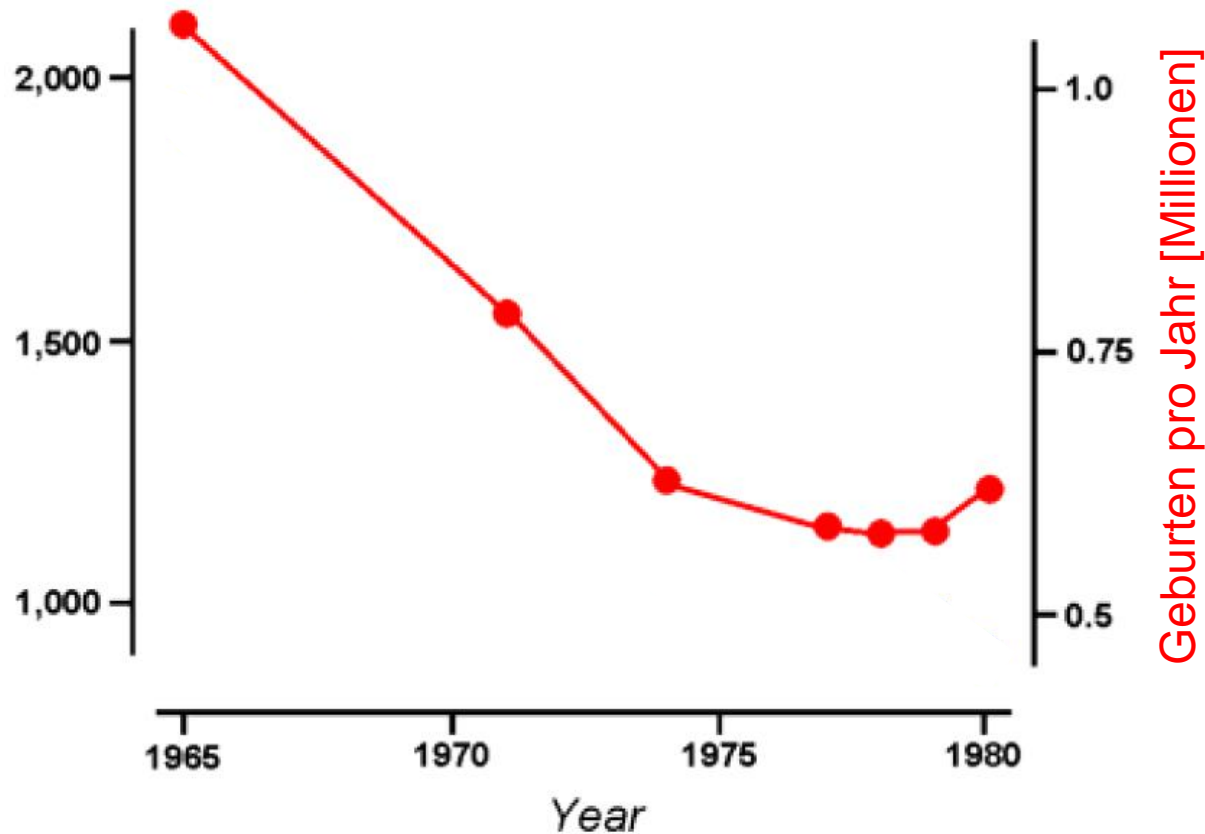


Quelle: Forschungsstiftung Mobilkommunikation und Krebsliga Schweiz, Kommentar zur Interphone Studie

# Bewertung von epidemiologischen Studien

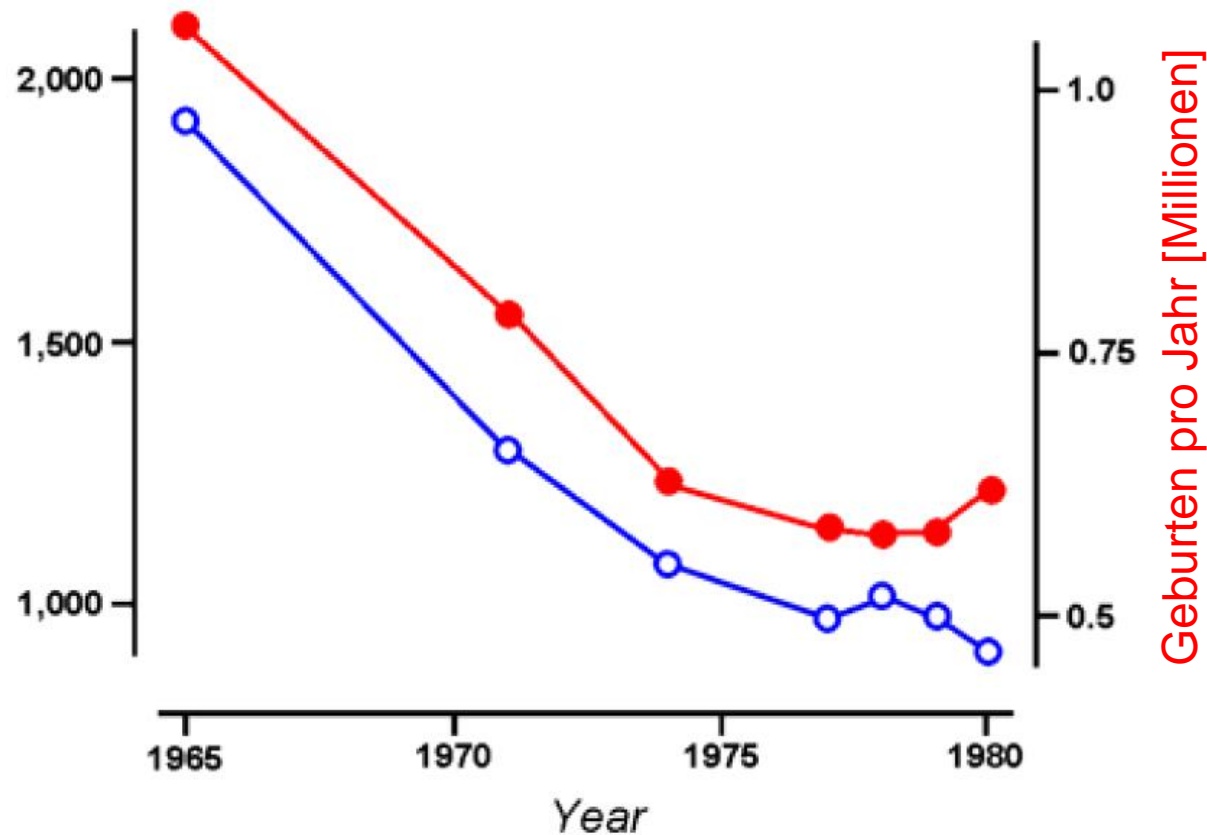
- Vorteile:
  - reale Situation bei Alltagsbedingungen wird abgebildet
  - keine Probleme mit mangelnder Übertragbarkeit usw.
- Nachteile:
  - Expositionserfassung schwierig (vor allem retrospektiv)
  - völlige Vergleichbarkeit der exponierten/nichtexponierten Gruppe in allen Bereichen außer der Exposition meist nicht realisierbar
  - Versuchsbedingungen im Allgemeinen nicht kontrollierbar  
→ Möglichkeit des Einwirkens von nicht untersuchten bzw. unbekanntem Faktoren = Confoundern
  - mögliche Zufallseffekte bei kleinen Fallzahlen
- Epidemiologische Studien können alleine nie einen Kausalzusammenhang belegen; sie können aber einen Beitrag zur wissenschaftlichen Erkenntnis leisten

# Fallstricke der Epidemiologie



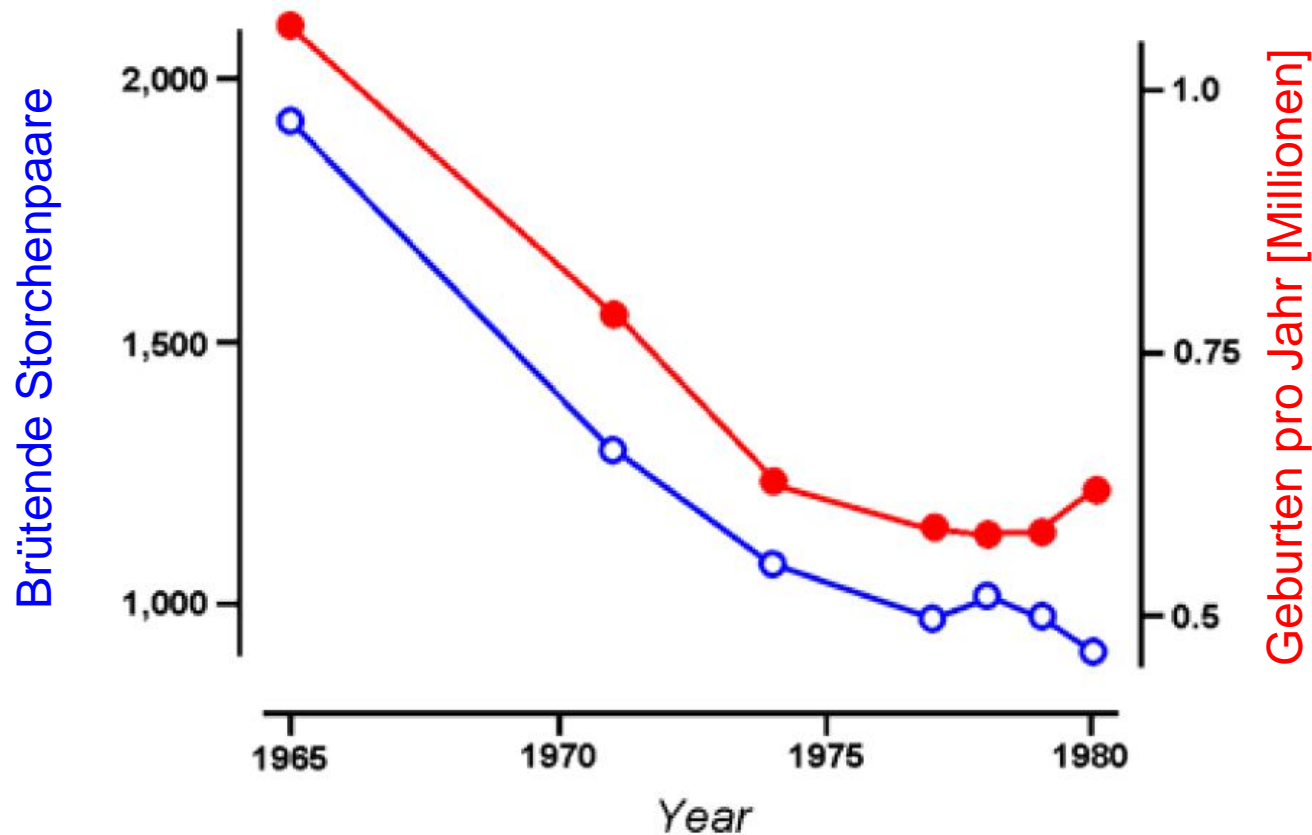
Sies, Nature, 1988

# Fallstricke der Epidemiologie



Sies, Nature, 1988

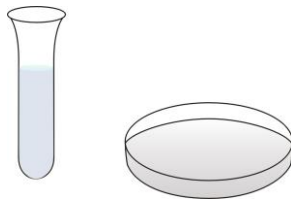
„There is concern in West Germany over the falling birth rate.  
The graph might suggest a solution that every child knows makes sense“



Sies, Nature, 1988

# Zusammenfassung Studienarten

**Laborstudien**  
(„in vitro“)



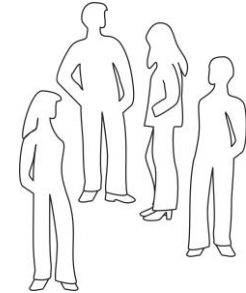
**Tierversuche**  
(„in vivo“)



**Probanden/  
Kasuistiken**



**Epidemiologische  
Studien**



näher am Wirkprinzip...

...näher an der Gesundheit

Es kommt auf die *Gesamtschau* aller Ergebnisse an!



# Ergebnisse: Aktueller Forschungsstand (1)

Endpunkte	Evidenzlinien / Bewertung			
	Epidemiologie	Humanstudien	Tierexperimentelle Studien	Zellexperimentelle Studien
Krebs	0		+/0	+/0
Verhalten	0		+/0	
Kognitive Funktionen	+/0	+/0	+/0	
Zerebraler Blutfluss und Hirnstoffwechsel		0	-	
Schlaf-EEG – Spektralwerte		+		
Schlaf-EEG – Makrostruktur		0		
Ruhe-EEG im Wachzustand		+		
Ereigniskorrelierte und evozierte Potenziale		+/0	+/0	

++	„Ausreichende Evidenz“ /Zusammenhang zwischen Exposition und Effekt in mehreren Studien von unabhängigen Forschenden oder mit verschiedenen Untersuchungsprotokollen bestätigt wurde. Die Expositions-Wirkungs-Beziehung ist übereinstimmend und andere Einflussfaktoren (Confounder) können mit zufriedenstellender Sicherheit ausgeschlossen werden.
+	„Begrenzte Evidenz“ /Der beobachtete Effekt beruht nur auf wenigen Studien, oder es bestehen ungeklärte Fragen hinsichtlich Studiendesign, Durchführung oder Interpretation der Studien. Andere Einflussfaktoren können in den vorliegenden Studien nicht mit zufriedenstellender Sicherheit ausgeschlossen werden.
0	„Unzureichende Evidenz“ /Die Studien lassen wegen ihrer Qualität, Übereinstimmung oder statistischen Aussagekraft keine eindeutigen Schlussfolgerungen zu.
-	„Evidenz für Abwesenheit eines Effekts“ /wenn in mehreren Studien von unabhängigen Forschenden mit unterschiedlichen Untersuchungsprotokollen an mindestens zwei Spezies oder zwei Zelltypen und bezogen auf einen ausreichenden Bereich von Feldintensitäten keine Effekte beobachtet wurden.
n.v.	Studien liegen nicht vor
	Studien können aus ethischen und/oder methodischen Gründen nicht durchgeführt werden oder sind nicht sinnvoll

# Ergebnisse: Aktueller Forschungsstand (2)

Endpunkte	Evidenzlinien / Bewertung			
	Epidemiologie	Humanstudien	Tierexperimentelle Studien	Zellexperimentelle Studien
Autonomes Nervensystem und kardiovaskuläres System	0	-	n.v.	
Neurodegenerative Erkrankungen	0		-	0
Symptome und Wohlbefinden	0	-		
Immunsystem und Hämatologie	0	0	n.v.	n.v.
Fertilität und Fortpflanzung	0	0	+/0	0
Embryonalentwicklung	0		0	n.v.
Andere Organsysteme	0	0	0	n.v.
Gentoxikologie	0	0	+/0	+/0
Oxidativer Stress		0	+	+
Mechanistische Untersuchungen			0	0

**++**

„Ausreichende Evidenz“ /Zusammenhang zwischen Exposition und Effekt in mehreren Studien von unabhängigen Forschenden oder mit verschiedenen Untersuchungsprotokollen bestätigt wurde. Die Expositions-Wirkungs-Beziehung ist übereinstimmend und andere Einflussfaktoren (Confounder) können mit zufriedenstellender Sicherheit ausgeschlossen werden.

**+**

„Begrenzte Evidenz“ /Der beobachtete Effekt beruht nur auf wenigen Studien, oder es bestehen ungeklärte Fragen hinsichtlich Studiendesign, Durchführung oder Interpretation der Studien. Andere Einflussfaktoren können in den vorliegenden Studien nicht mit zufriedenstellender Sicherheit ausgeschlossen werden.

**0**

„Unzureichende Evidenz“ /Die Studien lassen wegen ihrer Qualität, Übereinstimmung oder statistischen Aussagekraft keine eindeutigen Schlussfolgerungen zu.

**-**

„Evidenz für Abwesenheit eines Effekts“ /wenn in mehreren Studien von unabhängigen Forschenden mit unterschiedlichen Untersuchungsprotokollen an mindestens zwei Spezies oder zwei Zelltypen und bezogen auf einen ausreichenden Bereich von Feldintensitäten keine Effekte beobachtet wurden.

n.v. Studien liegen nicht vor

Studien können aus ethischen und/oder methodischen Gründen nicht durchgeführt werden oder sind nicht sinnvoll

# Fazit: Aktueller Forschungsstand

- Evidenz für alle evaluierten Gesundheitseffekte ist „abwesend“, „unzureichend“ oder „unzureichend/begrenzt“
  - Schlussfolgerung: Sofern ein Gesundheitsrisiko für das Individuum überhaupt besteht, ist es klein
  - Erkenntnistheoretisch kann ein möglicher Zusammenhang niemals *völlig* ausgeschlossen werden
- Bei den beobachteten biologischen Effekten (EEG, oxidativer Zellstress) ist nicht nachgewiesen, ob sie gesundheitlich relevant sind.
  - Bisher kein möglicher Wechselwirkungsmechanismus für biologischer Effekt → Gesundheitsschädigung identifiziert
  - Grenzwerte schützen vor nachgewiesenen gesundheitlichen Schädigungen und erheblichen Belästigungen

# Fazit: Risikobewertung Mobilfunkfelder

- Grundlegende Wirkung von HF EMF auf Lebewesen ist Wärmewirkung
- Hierfür lässt sich eine Wirkschwelle definieren, an der sich die Grenzwertsetzung orientiert.
- Dieses Schutzkonzept wird auch durch die aktuelle Forschung zu hypothetischen Wirkungen nicht in Frage gestellt.
- Forschungsbedarf (WHO Research Agenda):
  - Prospektive Kohortenstudie an Kindern und Jugendlichen mit den Endpunkten Krebs, Verhalten, neurologische Störungen
  - Monitoring von Langzeittrends bezüglich Gehirntumoren
  - Provokationsstudien zum Einfluss von HF EMF auf das Gehirn
  - Pränatale Tierstudien mit Endpunkt Entwicklung und Verhalten
  - Einfluss auf das Altern und auf neurodegenerative Erkrankungen
- Grenzwertausschöpfung durch Mobilfunk-Basisstationen ist sehr gering. Die persönliche Exposition wird vom Mobiltelefon dominiert.



# Einige Beispiele im Detail

- Mobiltelefone und Gehirntumore
- Hörsystem und visuelles System
- Mobilfunk und Schlaf
- Elektrosensibilität und Befindlichkeitsstörungen
- Mobilfunk und Kinder
- Risikokommunikation

# Beispiel Gehirntumore: IARC Klassifizierung

- Im Mai 2011 hat die IARC (Internationale Krebsforschungsagentur der WHO) HF-EMF als “möglicherweise krebserregend für den Menschen (Gruppe 2B)” klassifiziert

1	krebserregend für den Menschen (120 Substanzen)
2A	wahrscheinlich krebserregend (83 Substanzen)
2B	möglicherweise krebserregend (314 Substanzen)
3	nicht klassifizierbar (500 Substanzen)
4	wahrscheinlich nicht krebserregend (1 Substanz)

- Diese Klassifikation bezieht sich auf Drahtlostelefone, aber nicht auf Basisstationen!

# Bewertung der IARC Klassifikation

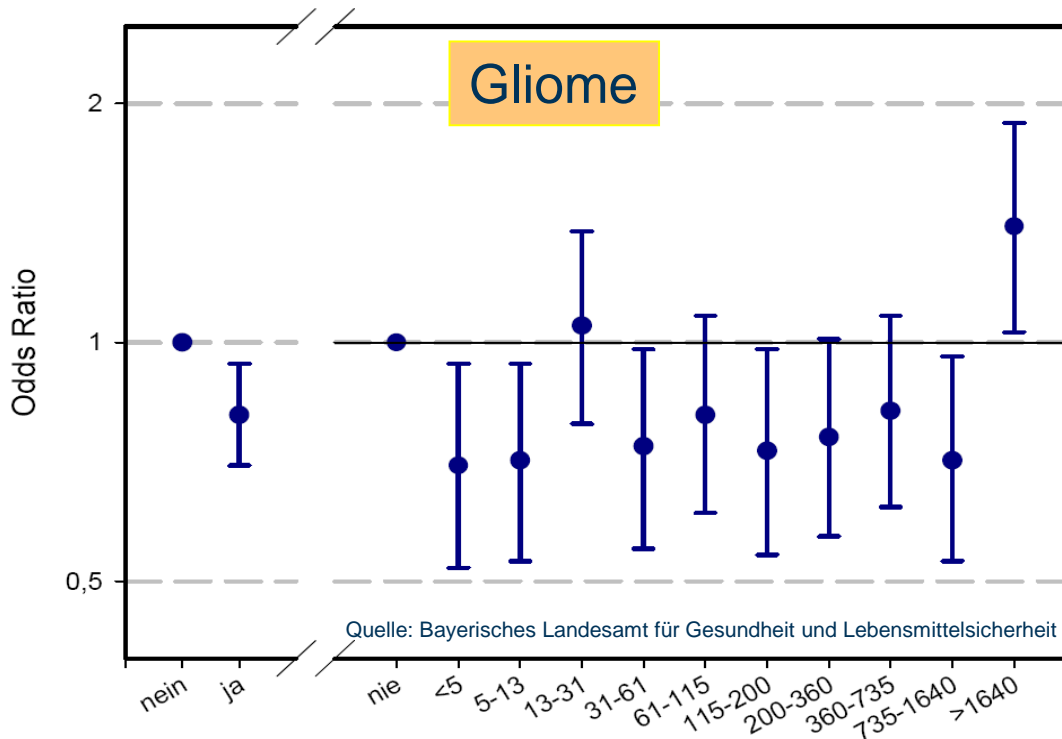
- Warum 2B?
  - Basiert hauptsächlich aus einigen Befunden epidemiologischer Studien (*Interphone*, Hardell)
  - „Konsensus“ (Kompromiss) aller beteiligter Wissenschaftler (mit unterschiedlichen Sichtweisen)
  - Grobes IARC Klassifizierungsschema verhindert differenziertere Einstufung
- Was bedeutet 2B?
  - Möglicherweise, aber möglicherweise auch nicht
  - Selbe Gruppe wie mixed pickles, Aloe Vera Extrakt, „in einer Reinigung arbeiten“, Bitumen, Textilherstellung
  - Keine Empfehlung zur Grenzwertsetzung!



# Interphone-Studie

- Epidemiologische Fall-Kontroll-Studie in 13 Ländern mit einheitlichem Studienprotokoll
- Bisläng größte Studie; Laufzeit 2000-2010
- Koordination durch WHO (IARC)
- Erhöht die Nutzung von Mobiltelefonen das Risiko für Hirntumore (Gliome, Meningiome, Akustikusneurinome, Parotistumore)?
- Daten zur Mobilfunknutzung über Interviews erhoben (Nutzungsdauer, Anzahl der Telefonate, Gesprächszeit)
- Große Fallzahlen (6.500 Fälle)

# Ergebnisse der Interphone-Studie



Handynutzung nein/ja bzw. Gesamtgesprächszeit in Stunden

- Überwiegend erniedrigte Risikoschätzer („Schutzeffekt“)
- Ausnahme: Gliome, kumulierte Nutzungsdauer >1.640 h; dort 40 % erhöhtes Risiko
- Dieser Befund wird durch übrige Daten (Nutzungsjahre, Zahl der Gespräche) nicht gestützt
- Mögliche Fehlereinflüsse:
  - Tlw. Befragung von Verwandten
  - unplausible Gesprächsdauern
  - Erinnerungsfehler (recall bias)
  - unterschiedliche Teilnahmeraten zwischen Fällen und Kontrollen

Insgesamt lassen die Ergebnisse keinen Schluss auf einen Zusammenhang von Mobiltelefonnutzung und Hirntumoren zu

# Interphone Publikation

Published by Oxford University Press on behalf of the International Epidemiological Association  
© The Author 2010; all rights reserved. Advance Access publication 17 May 2010

*International Journal of Epidemiology* 2010;**39**:675–694  
doi:10.1093/ije/dyq079

THEME: CANCER

## Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case–control study

The INTERPHONE Study Group\*

Corresponding author. Elisabeth Cardis; CREAL, Doctor Aiguader 88, 08003 Barcelona, Spain. E-mail: [ecardis@creal.cat](mailto:ecardis@creal.cat)

\*List of members of this study group is available in the Appendix.

Accepted 8 March 2010

**Background** The rapid increase in mobile telephone use has generated concern about possible health risks related to radiofrequency electromagnetic fields from this technology.

**Methods** An interview-based case–control study with 2708 glioma and 2409 meningioma cases and matched controls was conducted in 13 countries using a common protocol.

**Results** A reduced odds ratio (OR) related to ever having been a regular mobile phone user was seen for glioma [OR 0.81; 95% confidence

Downloaded from <http://ije.oxfordjournals.org/>



# Ergebnisse für Gliome und Meningiome

	Meningioma			Glioma		
	Cases	Controls	OR <sup>a</sup> (95% CI)	Cases	Controls	OR <sup>a</sup> (95% CI)
<b>Regular use in the past <math>\geq 1</math> year</b>						
No	1147	1174	1.00	1042	1078	1.00
Yes	1262	1488	0.79 (0.68–0.91)	1666	1894	0.81 (0.70–0.94)
<b>Time since start of use (years)</b>						
Never regular user	1147	1174	1.00	1042	1078	1.00
1–1.9	178	214	0.90 (0.68–1.18)	156	247	0.62 (0.46–0.81)
2–4	557	675	0.77 (0.65–0.92)	644	725	0.84 (0.70–1.00)
5–9	417	487	0.76 (0.63–0.93)	614	690	0.81 (0.60–0.97)
$\geq 10$	110	112	0.83 (0.61–1.14)	252	232	0.98 (0.76–1.26)
<b>Cumulative call time with no hands-free devices (h)<sup>b</sup></b>						
Never regular user	1147	1174	1.00	1042	1078	1.00
<5 h	160	197	0.90 (0.69–1.18)	141	197	0.70 (0.52–0.94)
5–12.9	142	159	0.82 (0.61–1.10)	145	198	0.71 (0.53–0.94)
13–30.9	144	194	0.69 (0.52–0.91)	189	179	1.05 (0.79–1.38)
31–60.9	122	145	0.69 (0.51–0.94)	144	196	0.74 (0.55–0.98)
61–114.9	129	162	0.75 (0.55–1.00)	171	193	0.81 (0.61–1.08)
115–199.9	96	155	0.69 (0.50–0.96)	160	194	0.73 (0.54–0.98)
200–359.9	108	133	0.71 (0.51–0.98)	158	194	0.76 (0.57–1.01)
360–734.9	123	133	0.90 (0.66–1.23)	189	205	0.82 (0.62–1.08)
735–1639.9	108	103	0.76 (0.54–1.08)	159	184	0.71 (0.53–0.96)
$\geq 1640$	130	107	1.15 (0.81–1.62)	210	154	1.40 (1.03–1.89)

Quelle: Int J Epidemiol



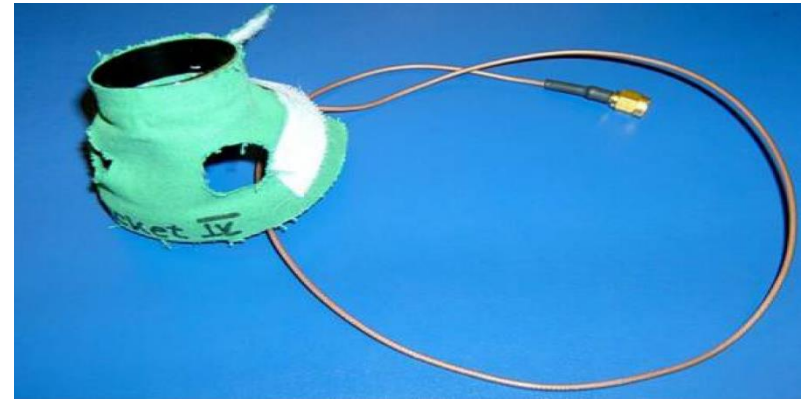
# Abhängigkeit von Nutzungszeit

	Meningioma			Glioma		
	Cases	Controls	OR <sup>a</sup> (95% CI)	Cases	Controls	OR <sup>a</sup> (95% CI)
<b>Cumulative Call time (h)</b>						
Non-regular users	1147	1174	1.00	1042	1078	1.00
Short-term users: start of phone use 1–4 years before reference date						
<5 h	150	186	0.92 (0.69–1.22)	127	182	0.68 (0.50–0.93)
5–114.9	401	500	0.74 (0.61–0.90)	449	533	0.82 (0.67–0.99)
115–359.9	95	126	0.79 (0.55–1.12)	121	154	0.74 (0.52–1.03)
360–1639.9	67	72	0.77 (0.49–1.20)	80	95	0.75 (0.50–1.13)
≥ 1640	22	5	4.80 (1.49–15.4)	23	8	3.77 (1.25–11.4)
Medium-term users: start of phone use 5–9 years before reference date						
<5 h	7	9	0.67 (0.23–1.96)	10	13	0.86 (0.32–2.28)
5–114.9	122	145	0.73 (0.54–0.98)	180	208	0.86 (0.66–1.12)
115–359.9	95	140	0.67 (0.48–0.93)	156	192	0.71 (0.53–0.95)
360–1639.9	129	131	0.83 (0.60–1.14)	174	204	0.72 (0.54–0.95)
≥ 1640	64	62	1.03 (0.65–1.65)	94	73	1.28 (0.84–1.95)
Long-term users: start of phone use ≥ 10 years before reference date						
<5 h	3	2	1.31 (0.21–8.07)	4	2	1.13 (0.16–7.79)
5–114.9	14	15	0.79 (0.36–1.73)	20	25	0.63 (0.32–1.25)
115–359.9	14	22	0.49 (0.24–1.01)	41	42	0.89 (0.53–1.50)
360–1639.9	35	33	1.00 (0.58–1.72)	94	90	0.91 (0.63–1.31)
≥ 1640	44	40	0.95 (0.56–1.63)	93	73	1.34 (0.90–2.01)

Quelle: Int J Epidemiol



# Beispiel: Hörsystem und visuelles System



Quelle: Knipper et al., Möglicher Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung des Mobilfunks auf das Auslösen und den Verlauf von Phantomgeräuschen (Tinnitus), DMF-Projekt

- kein Einfluss von GSM- und UMTS-Signalen auf das neuronale Netzwerk der Netzhaut des Auges und auf die Aktivität von Hörsinneszellen
- keine Hinweise auf die Induktion von Tinnitus



# Beispiel: Feldschlafstudie Charité Berlin



- Keine Beeinflussung der subjektiven und objektiven Schlafqualität
- Aber: Effekte durch bloße Existenz der Mobilfunkanlage (verbunden mit Besorgnis über Risiken) auf Schlafqualität



# Elektrosensibilität und Befindlichkeitsstörungen

- „Elektrosensibilität“ im Sinne eines ursächlichen Zusammenhangs mit der Exposition durch EMF existiert mit großer Wahrscheinlichkeit NICHT (aber: Nocebo-Effekte)
- Weitere Forschung sollte daher in einem Themenkreis außerhalb der EMF-Forschung erfolgen



Quelle: Leitgeb, Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen, DMF-Projekt

# Sind Kinder besonders empfindlich für Mobilfunkstrahlung?

## Vorab-Aussagen

- Emotionale Antwort: "... wahrscheinlich ja..."
- Wissenschaftliche Antwort: "...eher nicht..."

## Dosimetrie



Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz

- Unterschiede in lokaler örtlicher Feldverteilung im Kopf zwischen Kindern und Erwachsenen, aber ...
- kein Unterschied bei normativen 10g SAR-Maximalwerten unter Berücksichtigung der inter-individuellen Variabilität
- Keine charakteristischen Unterschiede der Dicke der Ohrmuschel bei Erwachsenen und Kindern (6-8 Jahre)
- Kein systematischer Einfluss der Altersabhängigkeit der Kopf-Gewebeparameter auf die lokale Exposition (Ausnahme: Knochenmark)
- Unterschiede bei Ganzkörper-Exposition (Basisstation)

## Thermoregulation

- Kinder regulieren besser als Erwachsene (Verhältnis Oberfläche zu Volumen, erhöhte Herzrate)

## Lebenszeitargument

- Nur gültig bei "Dosisakkumulation"
- Bisher aber keine Belege für eine „Dosisakkumulation“

# Risikokommunikation

- Mobilfunk ist nicht die "Nummer 1 der Besorgnis"
- *Basisstationen* sind dominierender Faktor der Risikoeinschätzung beim Mobilfunk
- Besorgnis ist über die letzten Jahre konstant geblieben
- Wenig Kenntnis über die effektiven Formen der Risikokommunikation

