

---

# Wissenschaft

Gregor Dürrenberger  
Forschungsstiftung Mobilkommunikation

# Uebersicht

---

- Begriffe, Konzepte, Studientypen
- Wirkmechanismen und Effekte
- Aktueller Forschungsstand: Gesundheit
- Fazit

# Begriffe, Konzepte, Studientypen

---

- Studientypen
- Expositionseinrichtungen
- Evidenz
- Publikationsprozess

Epidemiologie

Evidenz

TEM-Zelle

Cross-over

**PEER-REVIEW**

Doppelblind

Inzidenz

SARS

*In vitro*

Fallenzoll Studie

**INTERVENTIONSSTUDIE**

In vivo

# Studientypen

---

- **In vitro** (Zellexperimente im Labor)
- **In vivo** (Tierexperimente)
- **Epidemiologische Studien** (Bevölkerungsstudien)
- **Interventionsstudien** (Humanexperimente)

# Bedeutung für Risikobeurteilung nach WHO

---

- Epidemiologische Studien
- Humanexperimente
- Tierstudien
- Zellstudien

# Epidemiologische Studien

---

- **Querschnittstudien (Prävalenzstudien)**
  - **Prävalenz:** “Krankenstand” (Anzahl Kranke zu einem bestimmten Zeitpunkt)
  - **Gleichzeitige Erhebung von Exposition (gegenwärtige, vergangene) und Wirkung in einer Population**
  - Für seltene Wirkungen oder Expositionen und für Kausalitätsvermutungen ungeeignet
  - Relatives Risiko des Vorhandenseins einer Krankheit (exponiert vs. nicht exponiert)

# Epidemiologische Studien

---

- **Fall-Kontroll Studien** (Inzidenzstudien)
  - **Inzidenz**: Neuerkrankungen während einer bestimmten Zeit (Beachte: Inzidenz, Lebensdauer, Heilungsrate, Prävalenz)
  - **Vergleich von neu erkrankten Personen mit gesunden Kontrollpersonen**
  - Erfragung der Exposition in den zwei Gruppen (retrospektiv; bias bei Fällen)
  - Relative Erkrankungschancen (exponiert vs. nicht exponiert - OR)

# Epidemiologische Studien

---

- **Kohortenstudien (Inzidenzstudien)**
  - Vergleich exponierte Gruppe mit nicht exponierter Gruppe
  - Monitoring von Exposition und Wirkung (Longitudinalstudie, Inzidenz)
  - Retro- oder prospektiv
  - Relatives Risiko zu erkranken (exponiert vs. nicht exponiert - RR)

# Humanstudien (Interventionsstudien)

---

## ■ Designentscheide

- Fälle (exponiert) und Kontrollen (nicht exponiert), oder
- **Cross over** (jede Person ist ihre eigene Kontrolle)
- Einfach verblindet (Versuchsperson weiss nicht, wie sie exponiert ist), oder
- **Doppelblind** (weder Versuchsperson noch Betreuungsperson kennen Exposition)
- **Randomisiert** (Abfolge der Expositionen variiert zwischen den Personen) oder nicht randomisiert

# Expositionseinrichtungen

## TEM-Zelle

- “geöffnetes” Koaxialkabel
- **Breitbandig** (DC bis GHz)
- Homogene Feldverteilung in der Mitte
- **Laufwelle**
- Geeignet für Lösungen und Zellmembranen

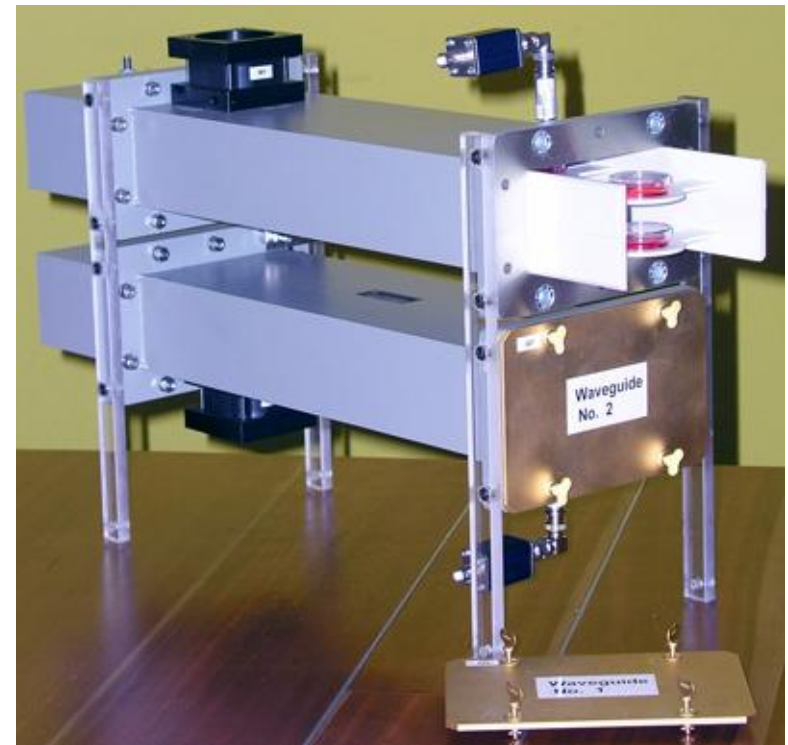


Quelle: IT'IS

# Expositionseinrichtungen

## Waveguide

- Hohlleiter
- **Schmalbandig** (frequenz-optimiert)
- Inhomogene Feldverteilung
- **Stehwelle**
- Geeignet für Zellmembran



Quelle: IT'IS

# Evidenz bei der Bewertung von Effekten

---

- **Gesichert:** unabhängig repliziert, Wirkmechanismen bekannt, kein Widerspruch zu anderen Befunden
- **Wahrscheinlich:** mehrfach plausibel repliziert, hohe wissenschaftliche Qualität, Wirkmechanismen unbekannt
- **Möglich:** vereinzelt beobachtet, inkonsistent
- Unwahrscheinlich, nicht beurteilbar (**spekulativ**)

Quelle: BUWAL, 2003

# Evidenz und „Wahrheit“

	Zusammenhang existiert wirklich	Zusammenhang existiert nicht
Effekt gefunden	Richtig-positiv	Falsch-positiv (Fehlalarm, Fehler 1. Art minimieren: Signifikanz)
Kein Effekt gefunden	Falsch-negativ (voreilige Entwarnung, Fehler 2. Art minimieren: Sicherheitsmargen)	Richtig-negativ (nicht beweisbar)

# Beispiel Diagnosetest

	Krank	Gesund
Test positiv	Richtig-positiv ( $1-\alpha$ )	Falsch-positiv ( $\alpha$ -Fehler) Fehldiagnose
Test negativ	Falsch-negativ ( $\beta$ -Fehler) Nicht erkannt	Richtig-negativ ( $1-\beta$ )

- Ziel Screening-Tests: möglichst wenige falsch-negative (Krankheit nicht erkannt). Gewünscht ist **grosse Power**
- Man nimmt dafür in Kauf, dass viele Gesunde positiv getestet werden (→Zweittest für alle positiven Befunde)

# Publikationsprozess

---

- **Fachjournale**: Wichtigste Medien der wissenschaftlichen Kommunikation
- Rangordnung von Fachjournalen
- **Publikationsliste**: wichtigster Faktor für Karriere und Reputation (publish or perish)
- **Peer Review**
  - Anonyme Beurteilung durch Fachexperten
  - Qualitätsprüfung, Revisionsvorschläge
  - Dauer: Wochen bis viele Monate

# Wirkmechanismen und Effekte

---

- Thermischer Wirkmechanismus
- SAR
- Erwärmung, Gesundheit, Grenzwerte
- Vergleich Handy – Basisstation
- Nicht-thermische Wirkungen

# Wirkmechanismen: Bilder

---

- **Kleine Ursache – grosse Wirkung**
  - Kleine Veränderungen können Systeme aus dem Gleichgewicht bringen
- **Steter Tropfen höhlt den Stein**
  - Langzeitig im Niedrigdosisbereich ebenso schädlich wie kurzzeitig hohe Belastungen
- **Die Dosis macht das Gift**
  - Lineare Beziehung zwischen Dosis und Wirkung
- **Ab diesem Wert wird's gefährlich!**
  - Biologische Schwellenwerte für Wahrnehmung und Gefährdung

# Wirkmechanismen: EMF

---

In der Toxikologie gilt grundsätzlich der Satz von Paracelsus:

- Die Dosis macht das Gift

Bei EMF ist das oft nicht zutreffend

- **Schwellenwerte**
  - Erwärmung: gesundheitsschädigende Dosen
  - Grenzwerte schützen
- **Niedrigdosisbereich**
  - Wirkung wissenschaftlich umstritten (keine ausreichend etablierten Befunde)
  - Keine Dosis-Wirkung Erkenntnisse; Wirkungsfenster (Frequenzen, Intensitäten), Resonanzphänomene

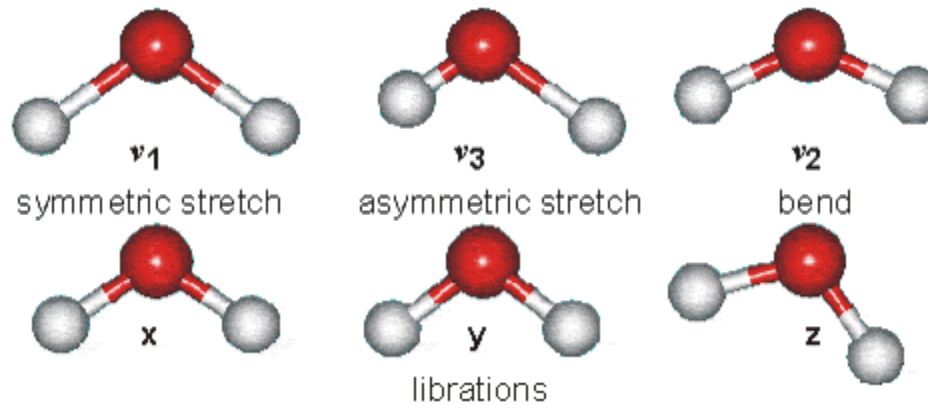
# Gut belegte biologische Wirkungen

Ionisierende Strahlung	Beschädigung von chemischen Bindungen	
Optische Strahlung	Hautreizungen und Verbrennungen durch Oberflächenabsorption der Strahlungsenergie	
Hochfrequenzstrahlung	Körpererwärmung und „Hot Spots“ durch Absorption im Körperinneren (SAR)	300GHz
Niederfrequente und statische Felder	Muskel- u. Nervenreizungen durch Körperströme	30kHz

# Thermische Wirkung

---

- Feld wirkt auf elektrisch geladene Teilchen (**Ionen**) oder elektrische **Dipole** (Wasser)
- Translation, Rotation, Vibration im Takt der **Feldänderungen**
- Entspricht thermischer Bewegung, **Reibungswärme**



Quelle: Chaplin, 2006 (<http://www.lsbu.ac.uk/water/index.html>)

# SAR

---

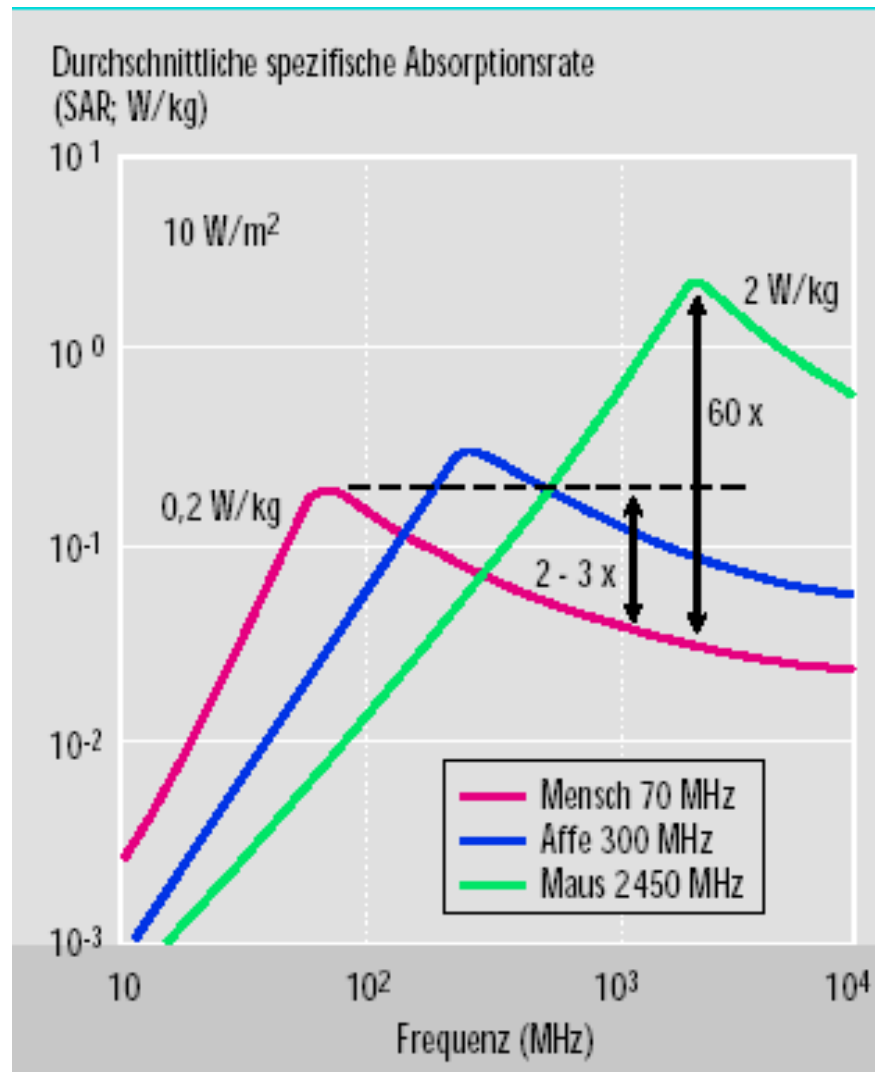
- **Spezifische AbsorptionsRate**
  - Absorbierte Leistung in Watt pro kg Körpergewicht
  - Mass für die Erwärmung des Gewebes
- **Ganzkörperabsorption**
  - Fernfeld von Antennen (z.B. Radiosender, Basisstationen)
- **Lokale Absorption**
  - Meist Nahfeld von Antennen (z.B. bei Handy: Kopf und Hand, bei PC-Funkkarten: Oberschenkel bei „lap-top“ Gebrauch)

# Thermische Wirkung

---

- Erwärmung **abhängig von**:
  - Leistung (Intensität) des Feldes
  - Frequenz (relativ zu Körpergrösse)
  - Polarisation (relativ zu Körperposition)
  - Gewebeart (Eindringtiefe)
  - Dauer der Befeldung
- Externe und interne Felder (Faktor 3-7)

# Leistungsabsorption nach Körpergrösse

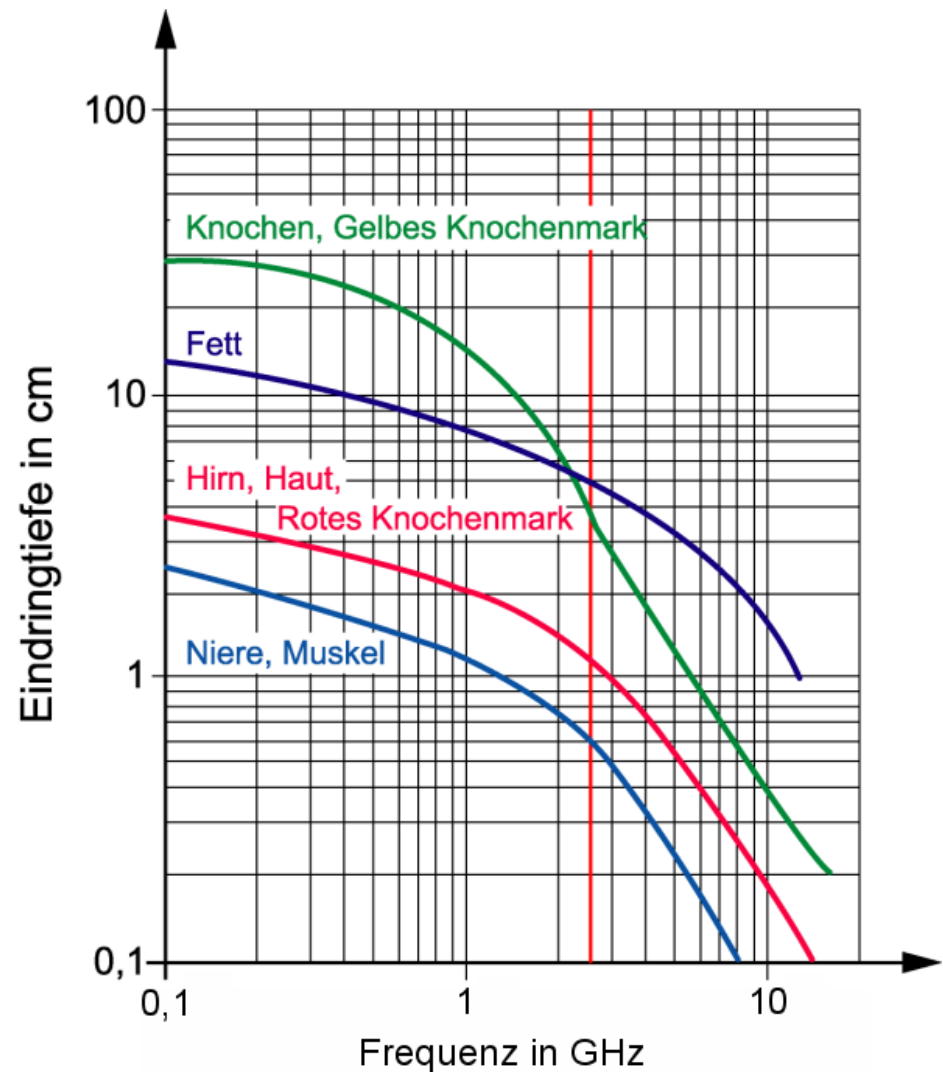


Quelle: Bernhardt, 1999

# Leistungsabsorption nach Gewebeart

Ungefähre notwendige  
Gewebedicke, um 2/3  
der Leistung eines EMF zu  
absorbieren

Quelle: EMF Portal

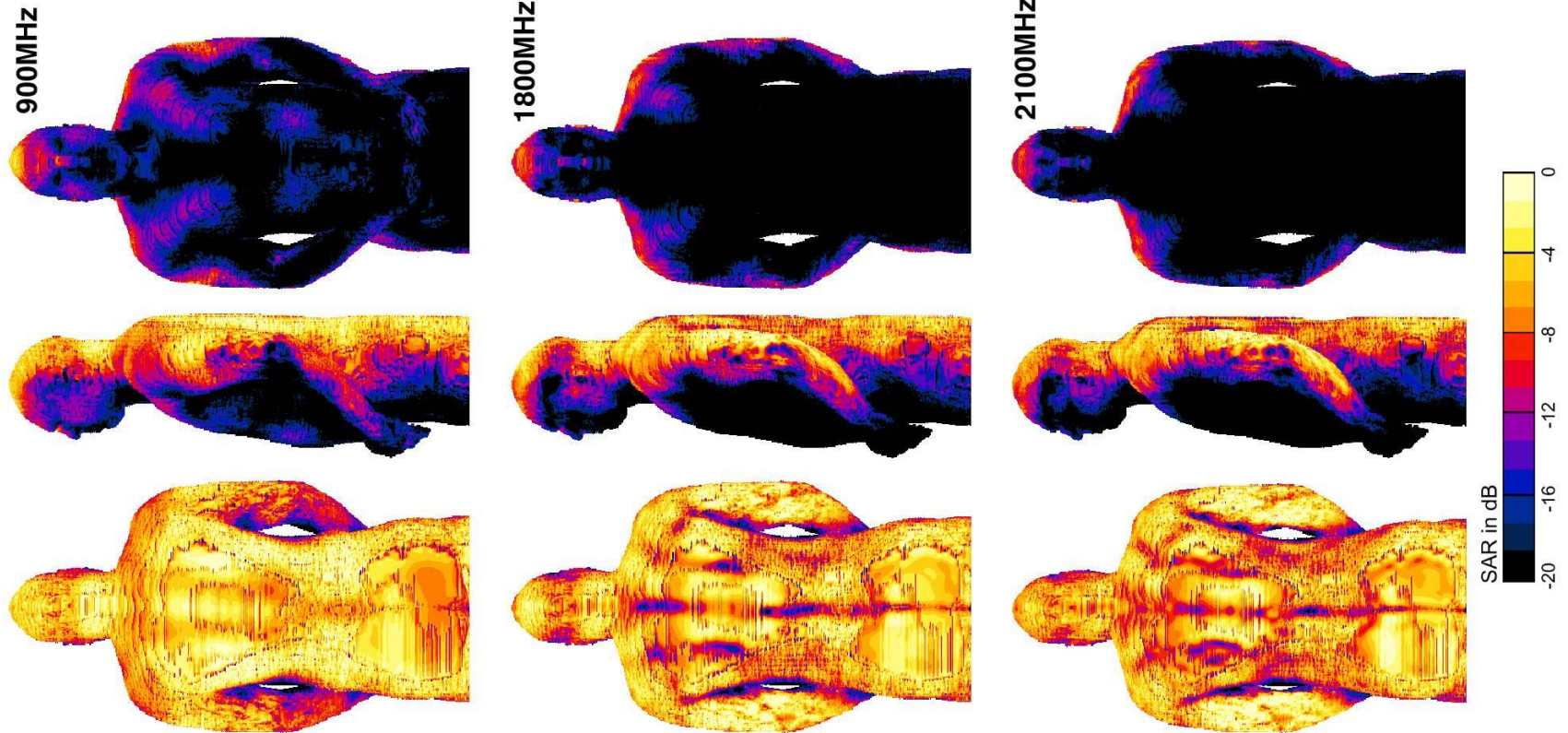


# Messung des SAR-Wertes



Quelle: Rösli, 2003

# SAR-Verteilung



Quelle: IT'IS

# Grenzwertregelung Gesamtkörpererwärmung

---

- **Mögliche Gesundheitsgefahr** durch Erwärmung:  
4 W/kg (SAR)
- **Sicherheitsfaktor** 50 für allg. Bevölkerung, alle Orte:  
0.08 W/kg (SAR)
- **Vorsorgefaktor** 100 (Total:  $50 \cdot 100 = 5000$ ) für  
empfindliche Orte: 0.0008 W/kg (theoretischer Wert)
- SAR *umgerechnet* auf äussere Feldstärken
  - 0.08 W/kg. 900 MHz: 40V/m; 1800 MHz: 60V/m (**IGW**)
  - 0.0008W/kg. 900 MHz: 4V/m; 1800 MHz: 6V/m (**AGW**)
  - Maximalwert Erwärmung bei IGW:  $0.1 \text{ } ^\circ \text{ C}$

# Empfehlungen Lokale Erwärmung

---

- **Mögliche Gesundheitsgefahr** durch Erwärmung:  
100W/kg
- **Sicherheitsfaktor** 50
- SAR-Wert: 2 W/kg (Maximalbelastung)
  - Schlechte Geräte im Bereich 1.5-2W/kg
  - Durchschnitt 1-1.5W/kg
  - Bessere Geräte 0.5-1W/kg
  - Gute Geräte: unter 0.5W/kg
  - Maximalwert Erwärmung: 0.4° C (10g), 0.1° C (Kopf)

# Vergleich Handy Basisstation

---

## ■ Expositionsart

- Handy: Kurzzeitig, lokal, vergleichsweise hoch, Nahfeld, stark gepulst (217Hz)
- Basisstation: Permanent, ganzer Körper, vergleichsweise tief, Fernfeld, variabel/schwach gepulst

## ■ Vergleich (rein energetisch!)

- Ganzkörperbetrachtung: 24h Basisstation = wenige Min. telefonieren
- Exposition Gehirn: 24h Basisstation = wenige Sekunden telefonieren

# Nicht-thermische Wirkungen

---

- **Hinweise** auf nicht-thermische Wirkungen
  - Subjektives Wohlbefinden
  - EEG-Veränderungen
  - Vereinzelt Laborhinweise: Kalziumausschüttung Nervenzellen, Genexpression, genotoxische Effekte
- **Wirkmechanismen** unbekannt
  - Trägerfrequenz (900MHz, 1800MHz) unwahrscheinlich
  - NF-Modulationsanteile möglich, Demodulations-mechanismus unbekannt
  - Sauerstoffradikale in Zellen?
- **Mikrothermische Effekte?**

# Nicht-thermische Wirkungen

---

- Kraftwirkung auf **Zellen** (Polarisierung)
  - Zellketten, Zellrotationen
  - Bei Feldern massiv über Grenzwerten Kraftwirkung in der Grössenordnung der thermischen Kräfte
- Spannungsdifferenzen an **Zellmembranen**
  - Oberhalb 1MHz biologisch unbedeutend
  - Unterhalb 1MHz bei massiven Grenzwertüberschreitungen Einflüsse vorhanden
- Beeinflussung von **Ionenbewegungen**
  - Kraftwirkung viele Grössenordnungen unterhalb thermischen Kräften
- **Resonanzmechanismen**
  - Bei grossen Moleküle wie DNA: theoretisch denkbar. Dämpfung durch Wasser

# Aktueller Forschungsstand: Gesundheit

---

- Biologische Effekte und Gesundheit
- Übersicht Humanstudien
- Schlaf, EEG
- Wohlbefinden
- Hirntumore
- Schwierigkeiten von Bevölkerungsstudien

# Biologische und gesundheitliche Effekte

---

- **Biologischer Effekt:** Körperreaktion auf äusseren oder inneren Reiz
- **Gesundheitlicher Effekt:** Körperreaktion, die gesundheitliche Wirkung hat (positiv, negativ)

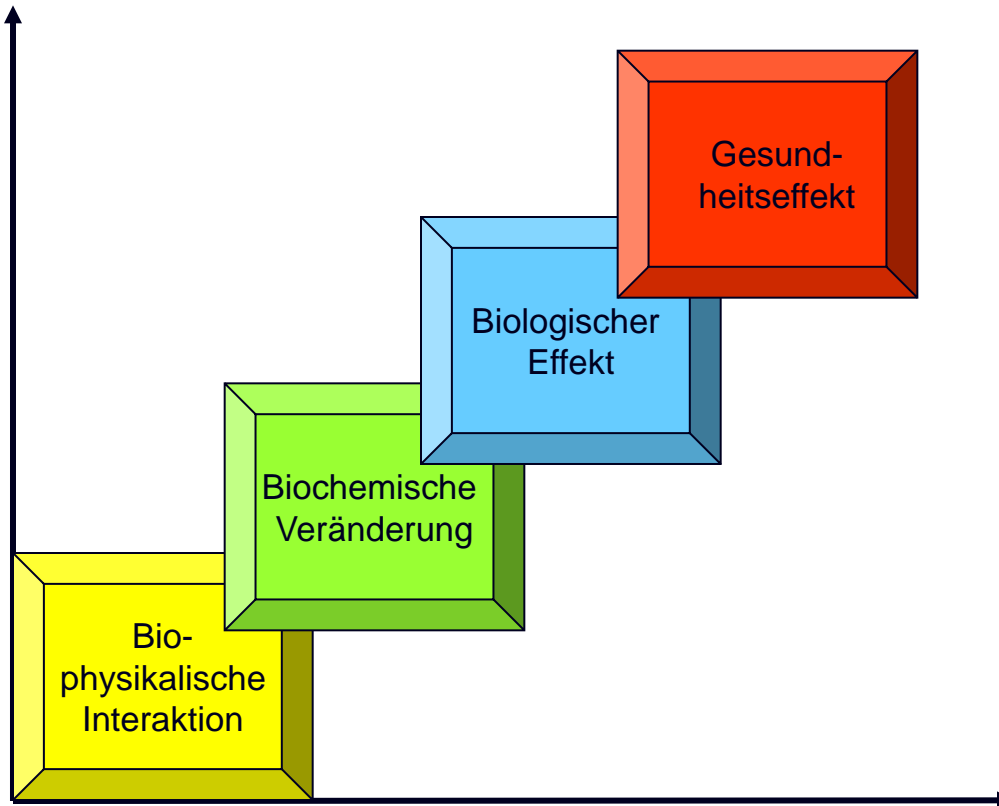
# Forschungssituation

---

	Thermische Wirkung	Nicht-thermische Wirkungen
Biologische Effekte	Gut belegt	z.T. Belegt
Gesundheitliche Effekte	Gut belegt	Nicht ausreichend belegt

# Unsicherheit von Aussagen

Unsicherheit



Komplexität

nach: Rösli, 2003

# Übersicht Humanstudien (1)

Wirkung gesichert oder mehrfache bzw. einzelne Hinweise

	gesichert	Mehrfache Hinweise	Einzelne Hinweise
Biologische Effekte	Erwärmung	EEG Schlaf	Kognitive Fähigkeiten
Wohlbefinden	Mikrowellen hören Implantate	Unspezifische Symptome <sup>(1)</sup>	Elektrosensibilität
Gesundheit i.e.S.			Hirntumore Leukämie

(1) Mobiltelefon, unklar ob EMF Ursache

Quelle: BUWAL, 2004

# Übersicht Humanstudien (2)

Wirkung **unwahrscheinlich** (mehrfache Hinweise auf Abwesenheit)  
oder nicht beurteilbar

	<b>Unwahrscheinlich oder nicht zu beurteilen</b>
<b>Biologische Effekte</b>	Hormon- und Immunsystem Herz-Kreislaufsystem (Blutdruck, Puls)
<b>Wohlbefinden</b>	Unspezifische Symptome <sup>(1)</sup>
<b>Gesundheit i.e.S.</b>	<b>Mortalität</b> , Fehlgeburten (Diathermie) Genotoxizität, <b>weitere Tumortypen</b>

(1) Basisstationen

Quelle: BUWAL, 2004

# Schlaf, EEG

---

- Schlaf
  - **Subtile Effekte**; z.B. Verkürzung Einschlafdauer
  - Nicht-REM-Schlaf Effekte
  - Kein Einfluss auf wichtige Schlafparameter (Schlafdauer, Schlafzyklen)
  - **Gesundheitliche Bedeutung unbekannt**
- Hirnströme (EEG)
  - biologische **Effekte mehrfach nachgewiesen**
  - **Nicht thermische** Ursachen (Pulsmodulation)
  - Veränderung des Blutflusses im Hirn
  - **gesundheitliche Bedeutung unbekannt**

# Wohlbefinden

---

- Unspezifische Symptome
  - Unwohlsein, Kopfschmerzen, Schlafstörungen...
  - Expertenschätzung: **2-5% der Bevölkerung betroffen**
  - V.a. bei ELF bekannt und untersucht
  - Neue Studie: UMTS-Signale signifikant, follow-up in der Schweiz (Uni ZH, Uni Bern, IT'IS)
- Probleme
  - Subjektivität (Erinnerung, „reporting bias“ bzw. selektive Wahrnehmung)
  - Ko-Faktoren (1): Verbindungsqualität, Umgebungslärm, Druck, Telefongebrauch als Stressindikator)
  - Ko-Faktoren (2): andere Faktoren (persönliche, ökologische)
- WHO: Keine Kausalbeziehung zu Feldern

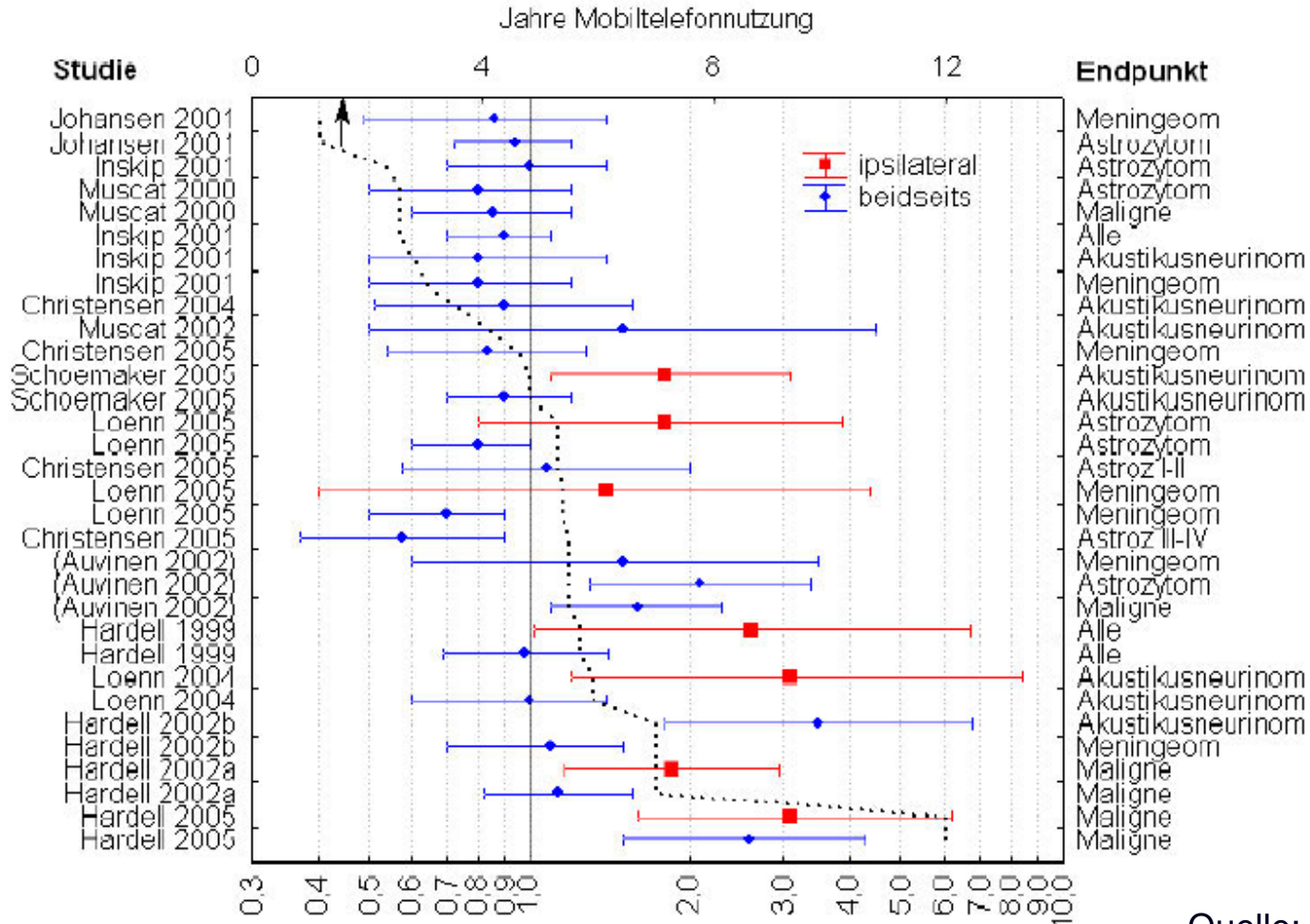
# Hirntumorstudien

---

- **Hinweise** auf möglichen Zusammenhang zwischen Kanzerogenese und Mobiltelefonbenützung
- **Risiko nicht abschliessend beurteilbar**
- Wichtigste Probleme
  - Expositionserfassung
  - Latenzzeiten der untersuchten Tumore (Induktionsrisiko vs. Promotionsrisiko)
  - Selektionsbias
  - Zusammenfassung verschiedener Endpunkte (Tumorarten)
  - Wenig Fälle mit langer Nutzungszeit

Quelle: Kundi, 2005

# Übersicht Hirntumorstudien



Quelle: Kundi, 2005

Ipsilateral: auf derselben Körperseite (wie Handybenutzung)

# Schwierigkeiten von Bevölkerungsstudien

---

## Erfassung der Exposition (Dosis)

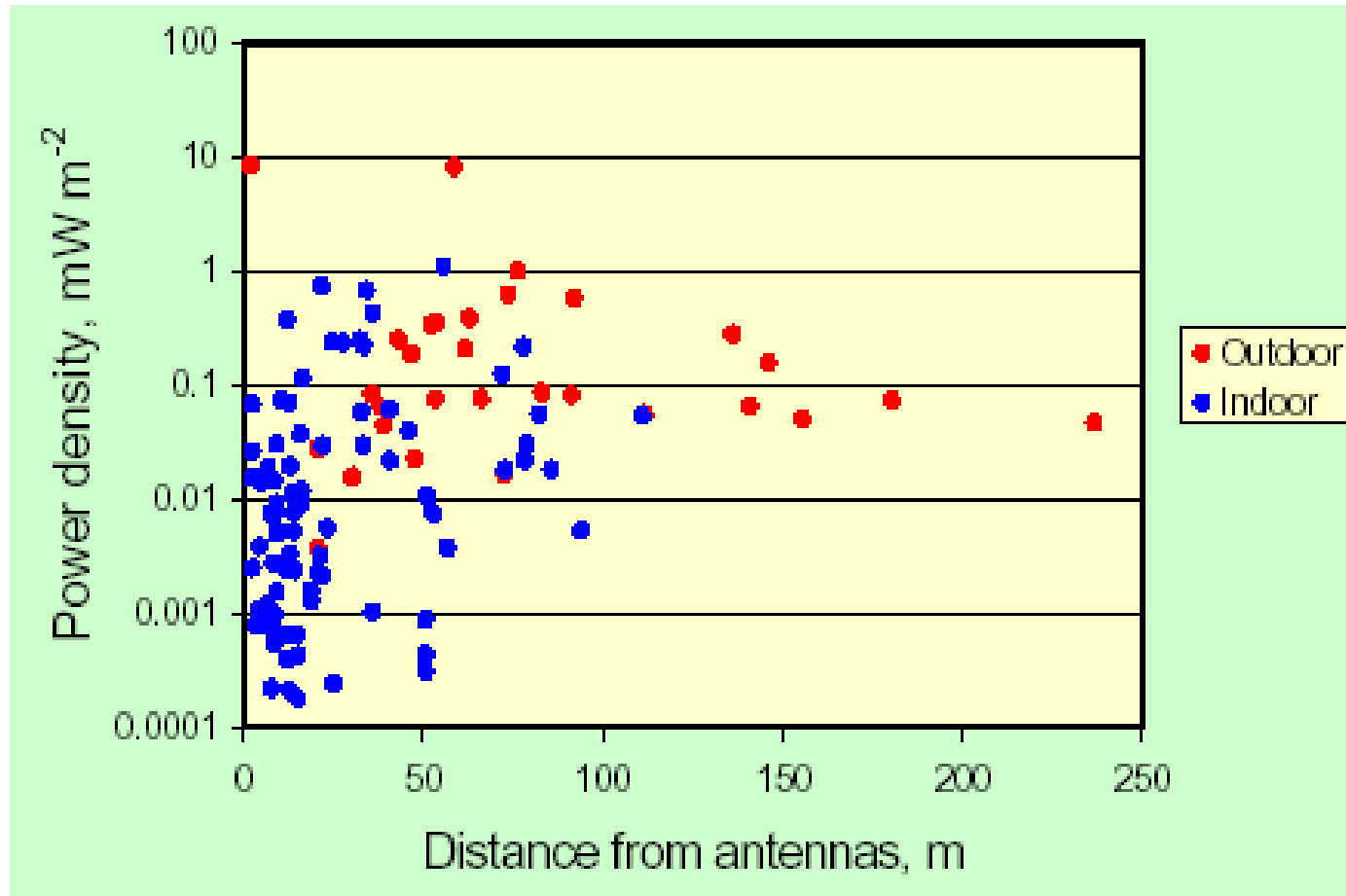
- **Mobiltelefone:** nicht direkt messbar. Ersatz:
  - ➔ Daten von Betreibern zu Gesprächsdauer, Telefonkosten, Nutzungsprofile (Registerstudien, Interphone)
    - » Sendeleistungen (Faktor 100)
    - » Telefontypen (Faktor 20)
    - » Gewohnheiten im Handling (Faktor 10)
  - ➔ Schätzungen der Befragten (Fall-Kontroll-Studien)
    - » Schätzfehler (Betroffene überschätzen tendenziell die Benützung)

# Schwierigkeiten von Bevölkerungsstudien

---

- **Basisstationen:** Reale Exposition kaum messbar.
  - ➔ Persönliche Exposition vs. Belastung einer Wohnung
    - » Noch keine Studien mit persönlichen Dosimetern
  - ➔ Messungen in Wohnungen: Messprotokoll
  - ➔ Schätzungen: Distanz als Näherungsmass
    - » gemessene Distanzen
    - » von den Befragten geschätzte Distanzen (Santini, Navarro)

# Schwierigkeiten von Bevölkerungsstudien



Quelle: Neubauer, 2004

# Schwierigkeiten von Bevölkerungsstudien

---

## Untersuchungskollektiv

### ■ Fallzahl (Krebsstudien):

Wenn klein, Zufallsergebnis oder nur sehr grosse Risiken statistisch nachweisbar

→ Vatikanstudie: 8 Fälle (erhöhtes Risiko)

→ Dreyer: 26 Fälle (kein erhöhtes Risiko)

### ■ Selektionskriterien (Befindlichkeitsstudien):

Wenn nicht Zufallsauswahl der Befragten, dann u.U. Überrepräsentation von Betroffenen oder ungleichmässige räumliche Verteilung der Befragten

→ Santini, Navarro: keine Angaben dazu

# Schwierigkeiten von Bevölkerungsstudien

---

## ■ Latenzzeit

- Viele Krebsarten mit Latenzzeiten über 10y
- Noch kaum Langzeitstudien (Hardell; Analogtelefone erhöhtes Risiko)

## ■ Störgrößen

- Häufig nicht berücksichtigt
  - » Leukämiestudien zu Radio/TV-Sendern: Röntgenstrahlen, Benzol (Rauchen, Chemikalien)
  - » Befindlichkeitsstudien: Gesundheitsstatus, demographische Merkmale
  - » Mobiltelefongebrauch und Wohlbefinden: Verbindungsqualität, Umgebungslärm, Druck, Telefongebrauch als Stressindikator

# Fazit: Hauptergebnisse zu Gesundheit

---

- Thermische Effekte gut erforscht
- Nicht-thermische Wirkmechanismen spekulativ
- Biologische Effekte unterhalb Grenzwerten (EEG, Reaktionszeiten)
- Gesundheitliche Effekte unterhalb Grenzwerte wissenschaftlich nicht ausreichend belegt. Einzelne Hinweise auf Einfluss auf Wohlbefinden und Krebsrisiko (Mobiltelefone)
- Langzeitstudien (Digitaltechnologie) fehlen
- Probleme mit Feldstudien (Epidemiologie)

# Fazit: Grundsätzliche Punkte

---

- Falls Zusammenhang EMF – Gesundheit existiert: Wissenschaft kann das prinzipiell nachweisen
- Wenn dieser Nachweis heute nicht erbracht ist, heisst das nicht, dass es ihn nicht gibt: Abwesenheit Beweis nicht dasselbe wie Beweis Abwesenheit
- Falls kein Zusammenhang EMF – Gesundheit: Wissenschaft kann Abwesenheit nicht beweisen: Unschädlichkeitsnachweis (Null-Risiko) nicht möglich.
- Es können sich aber immer statistisch zufällige Zusammenhänge ergeben (jede 20. Studie zeigt per Zufall einen signifikanten statistischen Zusammenhang)

# Fazit: Grundsätzliche Punkte

---

- Warnung vor schnellen Folgerungen aus Einzelstudien, v.a. mit kleinen Fallzahlen
- Hinweisen durch seriöse Forschung nachgehen
- Umgang mit verbleibender wissenschaftlicher Unsicherheit ist politische Frage (Vorsorgediskussion)
- Selbst wenn Risiko wissenschaftlich quantifiziert wäre, bliebe eine politische Risikoabschätzung (Kosten, Nutzen)