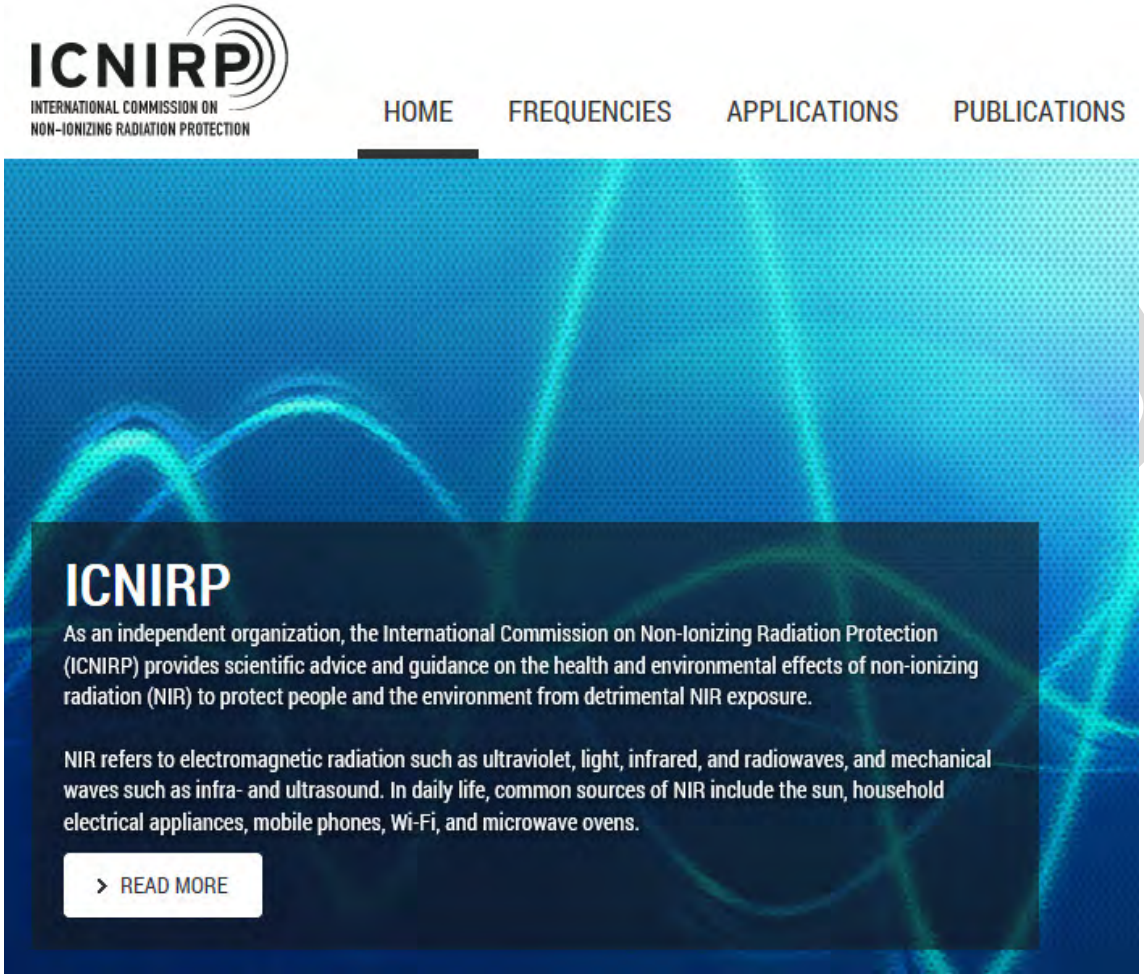
Swiss TPH
Swiss Tropical and Public Health Institute
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut
Institut Tropical et de Santé Publique Suisse

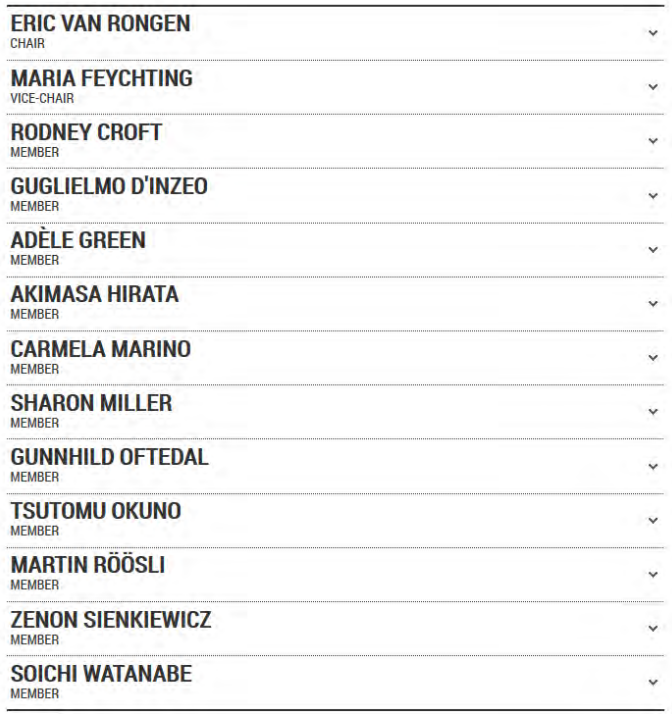
Associated Institute of the University of Basel

ICNIRP: Stand Revision des MMW-Bereichs

Prof. Dr. Martin Röösli

ICNIRP Kommission





http://www.icnirp.org/

Potentielle Interessenskonflikte

- Keine Entschädigung für ICNIRP-Mandat (ausser Reisespesen)
- Meine Forschung ist ausschliesslich über öffentliche Gelder oder gemeinnützige Stiftungen finanziert.

Entwurf

Ziel Überarbeitung Richtlinien (Guidelines)

- Regulierung des Frequenzbereichs von 100 kHz – 300 GHz
- Schutz des Menschen vor schädlichen Gesundheitseffekten unter realistischen Bedingungen
- Berufliche Exposition und Allgemeinbevölkerung
- Direkte EMF und einige “indirekte” Expositionssituationen

- Nicht berücksichtigt
  - Medizinische Applikationen (Hyperthermie, RF-Ablation, etc)
  - Kosmetische Prozeduren
  - Studien mit Freiwilligen (z.B. MRI)
  - Elektromagnetische Interferenz (EMC)

Entwurf

Status

- Hauptdokument und 2 Anhänge (technischer und biologischer Anhang)
- Öffentliche Konsultation Ende Juni am BioEM Meeting gestartet

Entwurf

Public Consultation

BioEM2018
June 25-29, Piran, Portorož, Slovenia

Session: P2
Plenary 2: The International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP)
Draft High Frequency (100 kHz – 300 GHz) Guidelines

Status

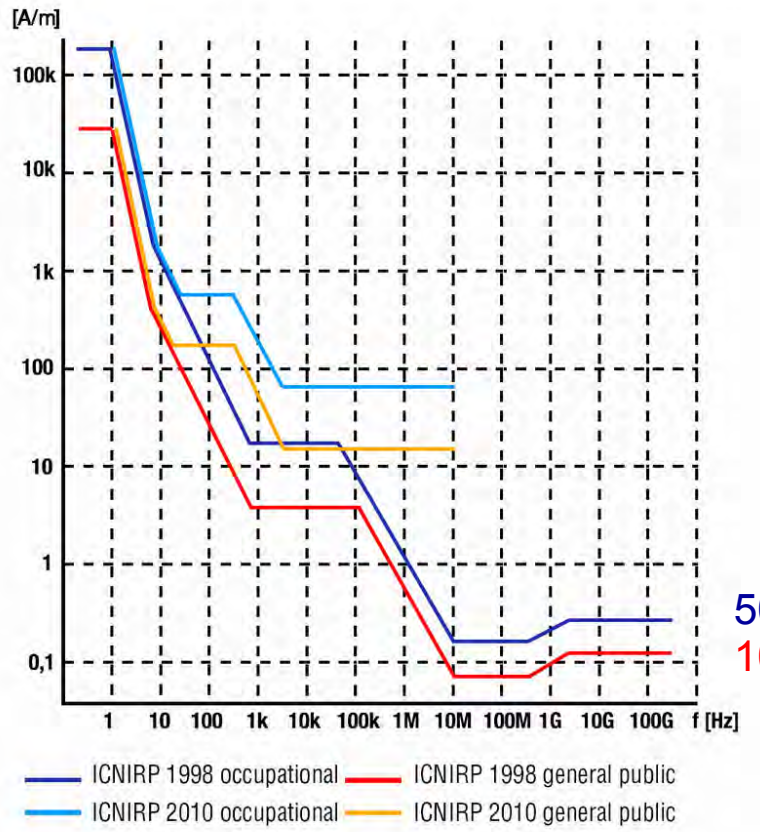
- Hauptdokument und 2 Anhänge (technischer und biologischer Anhang)
- Öffentliche Konsultation Ende Juni am BioEM Meeting gestartet
- Öffentliche Konsultation am 9.10.2018 beendet
  - ~120 Beiträge, >1000 individuelle Kommentare
- Fast fertig! Publikation hoffentlich August / September 2019

Entwurf

Bisher

GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC, AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (UP TO 300 GHz)

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*†



50 W/m² (137 V/m)
10 W/m² (61 V/m)
} für ≥2 GHz

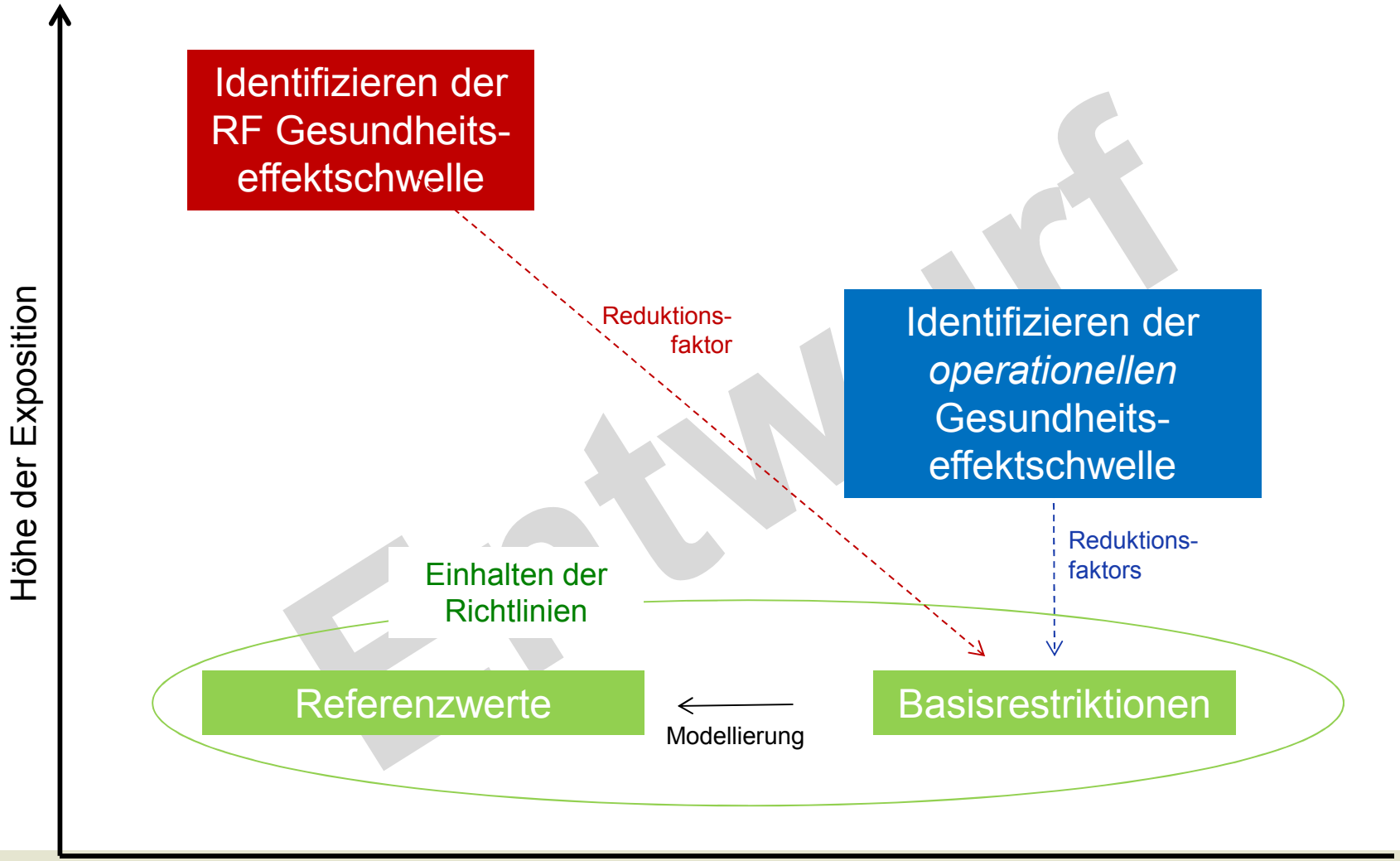
Vorgehen

- Identifikation der Gesundheitseffektschwelle
  1. Review relevante Literatur zu (thermisch und nicht-thermischen) Effekten auf biologische Systeme
  2. Effekte berücksichtigt für die gilt:
     a. Schädlich für den Menschen, und
     b. Wissenschaftliche Evidenz (z.B. unabhängig repliziert, gute Qualität, wissenschaftlich erklärbar, etc.)
  3. Bestimmung der Gesundheitseffektschwelle
     a. Minimale RF Exposition* bei welcher die Effekten *beobachtet* wurden, oder
     b. Falls ungenügende RF/biologische Forschung, minimale erwartete Exposition* für den Effekt von der nicht-RF EMF Literatur (d.h. ***operationelle*** Gesundheitseffektschwelle)

     * konservative Abschätzung

Entwurf

Vorgehen



Entwurf

Herleitung Basisrestriktionen

- Anwenden von Reduktionsfaktoren
  - Wissenschaftliche Unsicherheit, Wichtigkeit des Gesundheitseffekt, Variation innerhalb der Bevölkerung, unterschiedliche Umweltbedingungen, etc.
  - Reduktionsfaktoren können unterschiedlich sein, aber möglichst ähnlich falls wissenschaftlich vertretbar
- Reduktionsfaktoren sind höher für die Allgemeinbevölkerung als für Arbeitende
  - RF-Training und Möglichkeiten Massnahmen zu ergreifen bei Arbeitenden
  - Expositionsdauer
  - Grössere Variabilität im Gesundheitszustand der Bevölkerung
- Fötus gehört zur Allgemeinbevölkerung

Entwurf

Herleitung Referenzwerte

- Bestimmen der elektrischen Feldstärke/Leistungsflussdichten von den Basisrestriktionen für praktischere Umsetzung:
  - Referenzwerte sind konservativ für alle *realistischen* Expositionsszenarien aber nicht für alle *möglichen* Expositionsszenarien
  - Referenzwerte können daher zu Exposition führen, welche die Basisrestriktionen im Rahmen der Fehlerbandbreite übertreffen (maximal einen Faktor ‘2’). Die Gesundheitseffektschwellen bleiben aber in jedem Fall eingehalten.

Entwurf

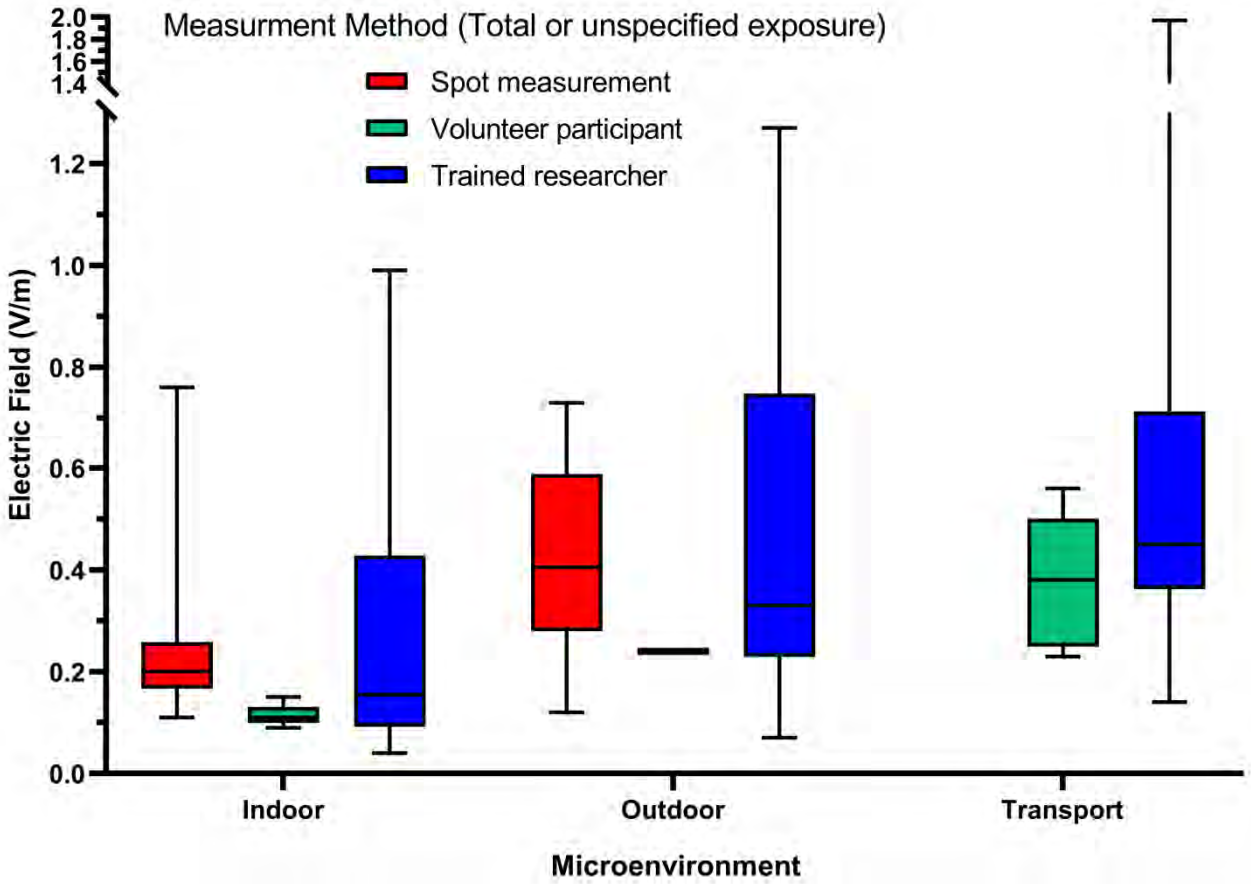
Wissenschaftliche Basis

- Entwurf WHO RF Monograph, SCENHIR, SSM Berichte
- Zellstudien bis Epidemiologie berücksichtigt
- Relevante Auswirkungen:
  - Temperaturerhöhung im Gewebe
  - Stimulierung der Nerven bis 10 MHz (in den in ICNIRP 2010 ELF Richtlinien beschrieben; mitberücksichtigt)
  - Elektroporation (100kHz-110MHz, in der Praxis kein Problem wenn GW für Nervenstimulierung eingehalten; keine Richtlinien bestimmt)
- Keine Evidenz für kanzerogene
- Keine Evidenz für andere Gesundheitsauswirkungen als mit den bisher identifizierten Mechanismen erklärbar.
- Forschung zu Wärme/Hitze auch berücksichtigt.

Entwurf

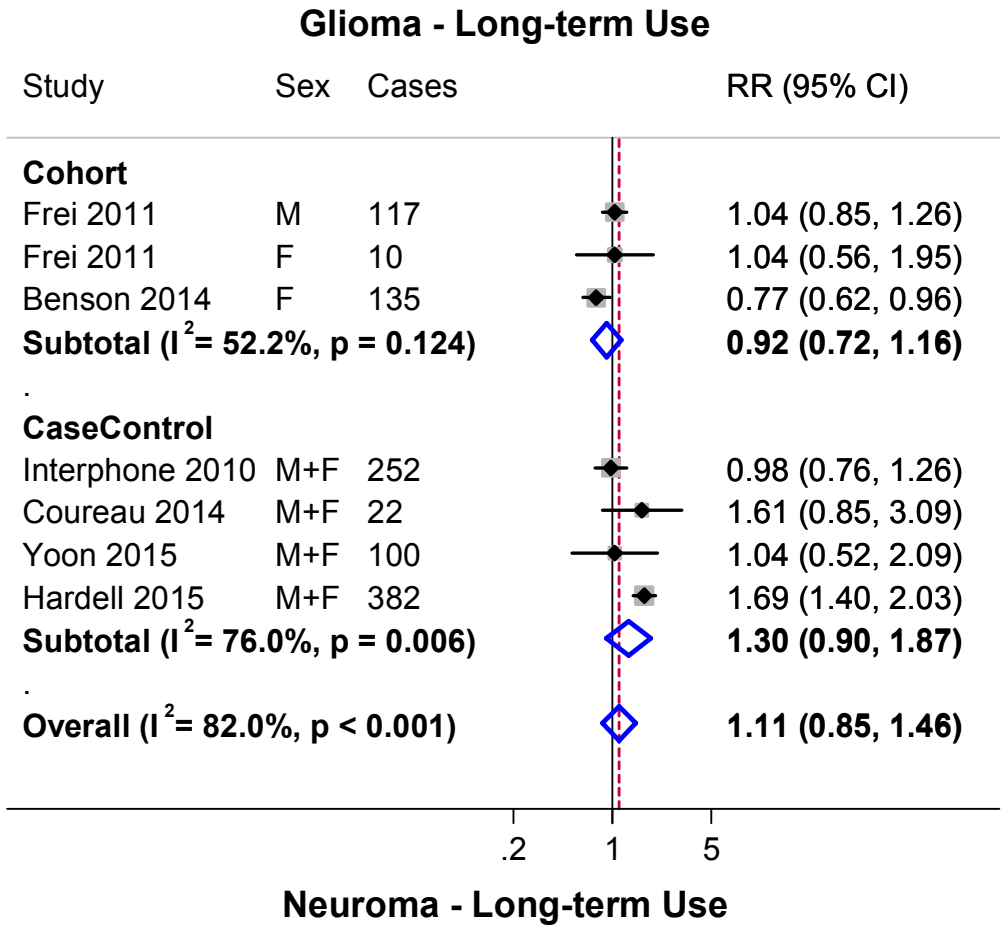
Reale Exposition vs. ICNIRP Grenzwerte

Typische Exposition in Europa



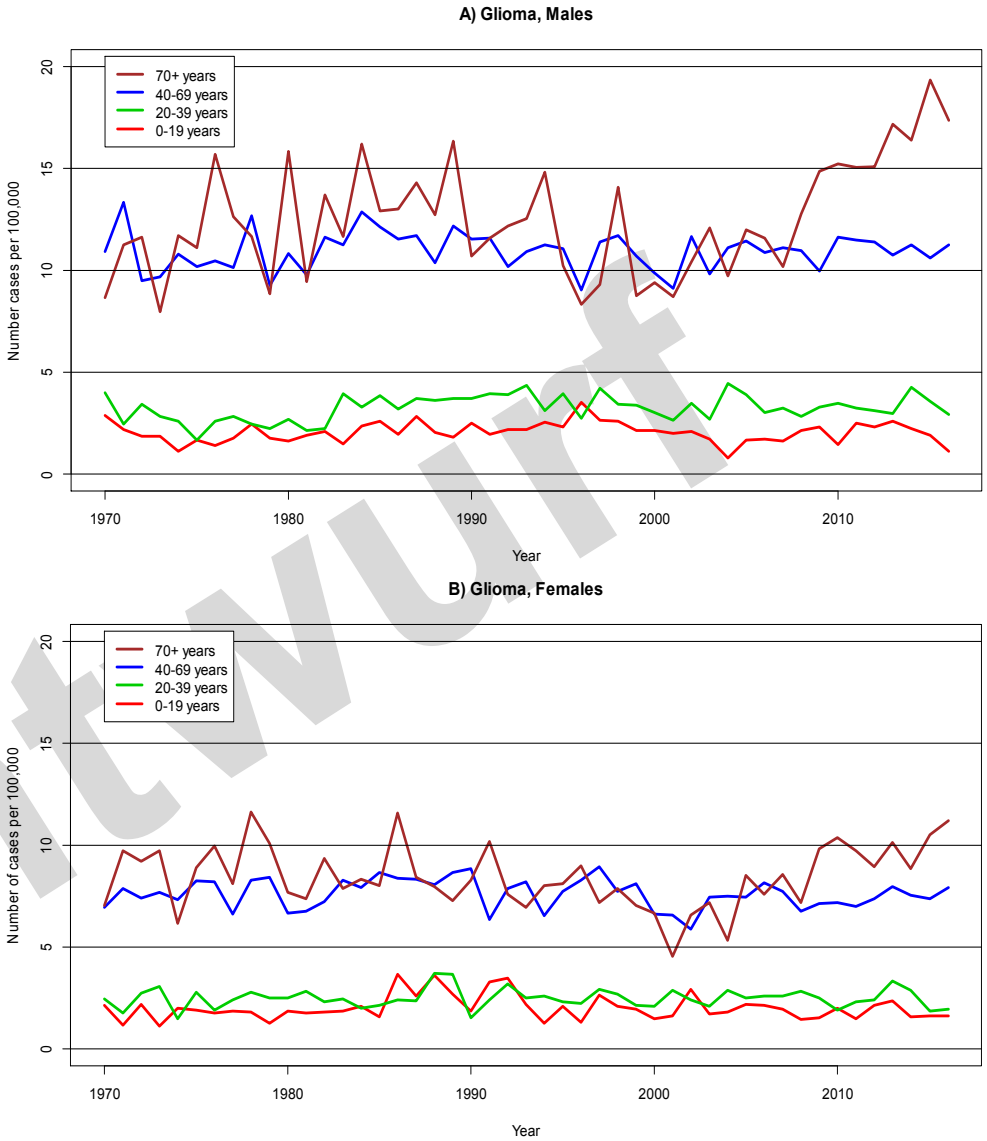
Adaptiert von Jalilian et al. Env Res, 2019

Meta-Analyse Hirntumore



Röösli, Ann Review PH, 2019

Zeittrends Hirn-tumore in Schweden

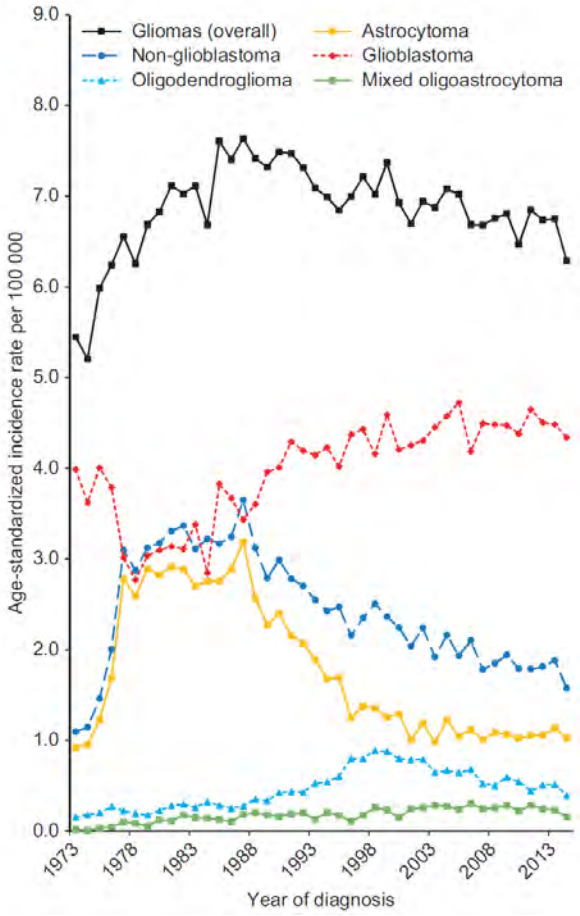


Röösli, Ann Review PH, 2019

Entwurf

Beobachtete Trends bei Hirntumoren

USA



Li, 2019

Datum: 13.05.2018
SonntagsZeitung
SonntagsZeitung
8021 Zürich
044/ 248 40 40
www.tagesanzeiger.ch/sonntagszeitung/
Medienart: Print
Medientyp: Tages- und Wochenpresse
Auflage: 158'924
Erscheinungsweise: wöchentlich
Seite: 54
Fläche: 88'188 mm²
Swiss TPH
Swiss Tropical and Public Health Institute
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut
Institut Tropical et de Santé Publique Suisse
Associated Institute of the University of Basel
Auftrag: 530003
Themen-Nr.: 530.003
Referenz: 69581426
Ausschnitt Seite: 1/3

Bösartige Hirntumore nehmen zu

Neue Zahlen aus England erschrecken Handynutzer – doch Strahlung ist laut Experten nur eine der Ursachen für Krebs

Alarmierende Zahlen veröffentlichten englische Wissenschaftler in der letzten Woche: Zwischen den Jahren 1995 und 2015 stieg die Anzahl Menschen, die in England an einem bösartigen Hirntumor erkrankten, stark an. Im Jahr 1995 hatten 983 Patienten die Diagnose Glioblastom bekommen, im Jahr 2015 waren es 2531.

Vorhersage für die Anzahl Hirntumoren wegen Mobilfunktelefonen

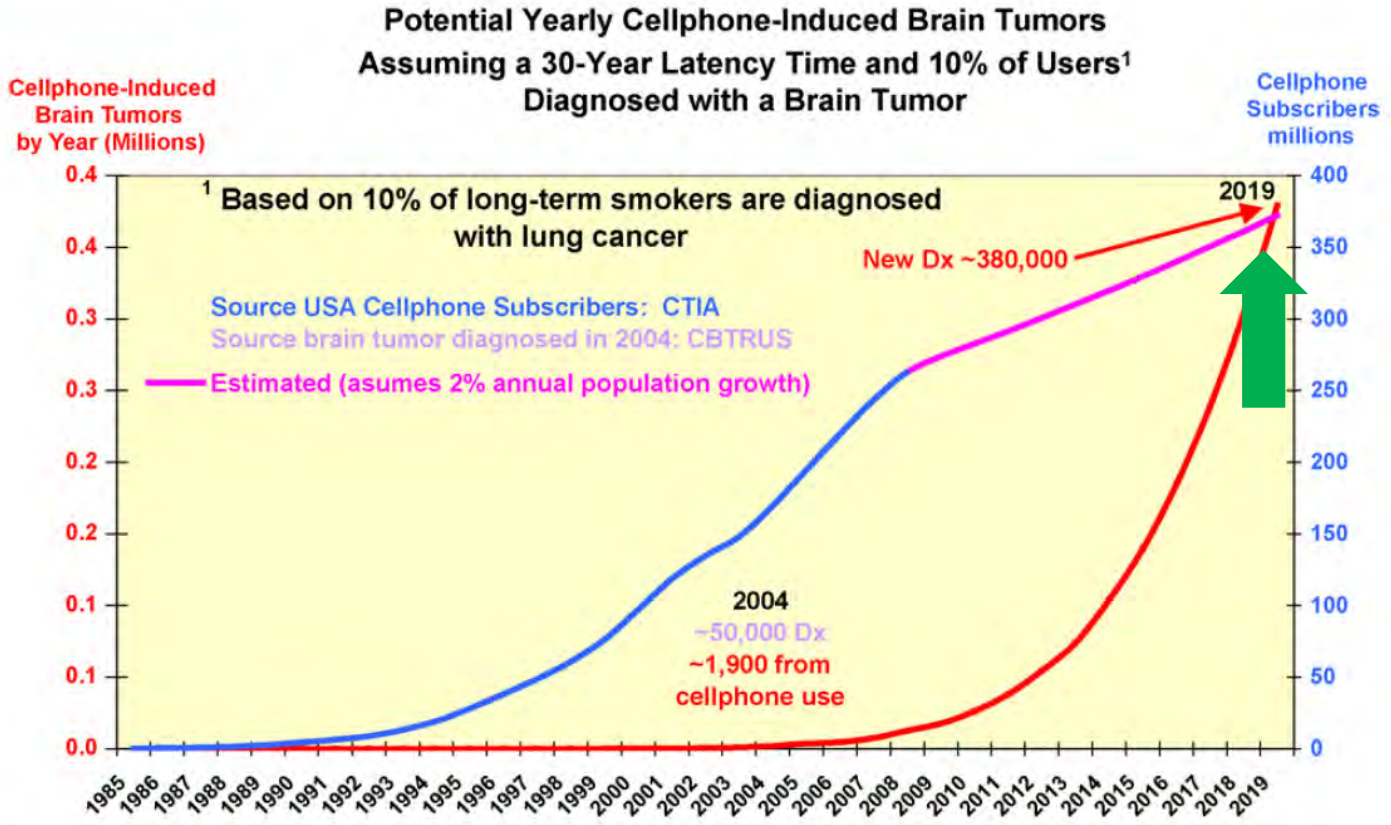


Fig. 1. Long-delay followed by sudden onset of brain tumor epidemic.

Morgan, Pathophys, 2009

Körperkerntemperatur

- Typische Körperkerntemperatur (36-37°C) variiert im Tagesverlauf (ca. 0.5°C)
  - Thermoregulation (z.B. Gefässanpassung, Schwitzen)
  - Effekte bei erhöhter Temperatur (>38°C) sind reversibel, aber Risiko für Hitzschlag oder andere bleibende Schäden steigt stark, wenn >40°C
- Operationelle Gesundheitseffektschwelle: Körperkerntemperaturanstieg >1°C (analog zu Arbeitsschutz, ACGIH, 2017)
- Aber! Für Gesundheitseffekte ist absolute Temperatur massgebend und nicht Temperaturanstieg.
- Körperkerntemperatur hängt von vielen individuellen und Umweltfaktoren ab.
- D.h. operationelle Gesundheitseffektschwelle basiert auf der Annahme eines thermonormalen Ausgangspunkts.

Entwurf

SAR und Körperkerntemperatur

- RF Modellierung:
  - ~6 W/kg Ganzkörper SAR, 1 h bei 28 °C: ~1°C Anstieg (konsistent mit den wenig vorhanden Messungen am Menschen)
  - Temperaturanstieg bei Kindern kleiner (effizientere Wärme Dissipation) (Hirata, 2013)
  - Je höher die Frequenz, desto oberflächlicher die Erwärmung und desto effizienter die Dissipation. Keine Forschung im Bereich 6-300 GHz
  - Vergleich Infrarotstrahlung: 18 W/kg für +1°C

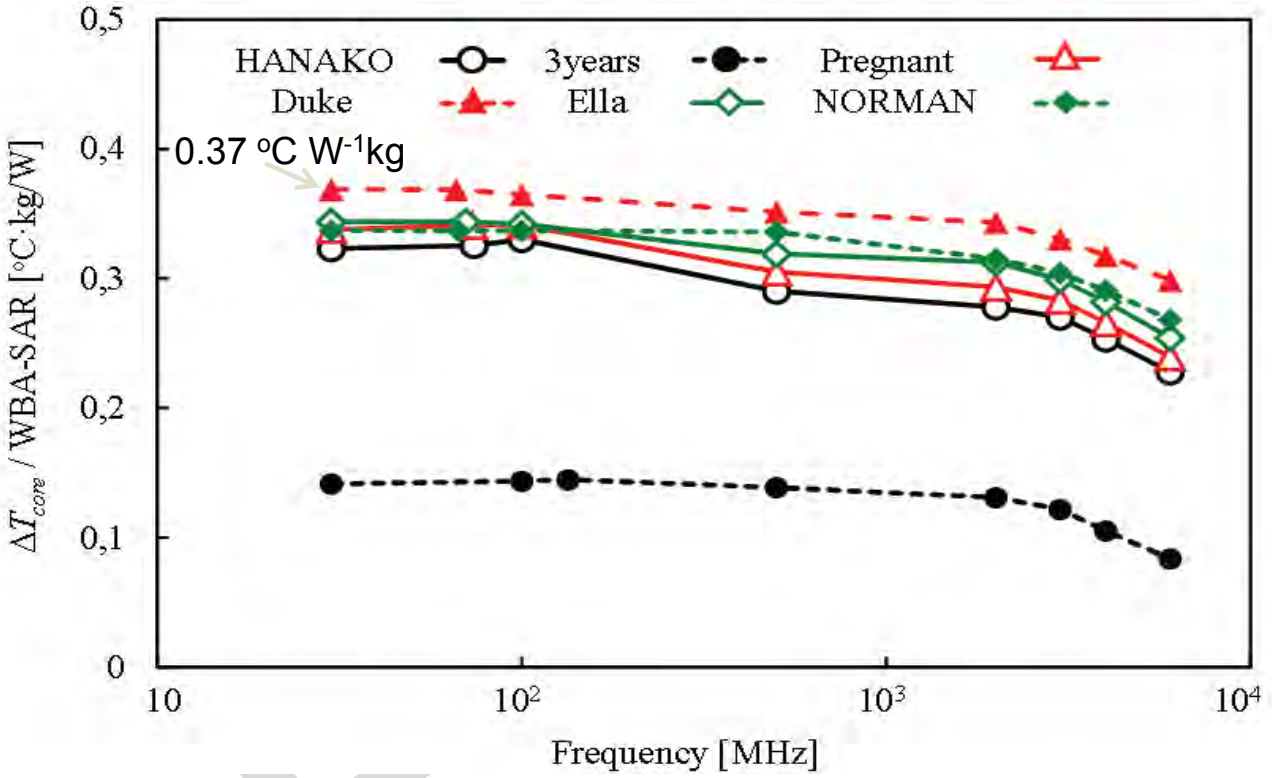
- **Operationelle Gesundheitseffektschwelle:**
  Ganzkörper SAR von 4 W/kg gemittelt über 30 Minuten (=Zeit für Steady state)

  (Zusätzliche 6-Minuten Randbedingung durch lokale Exposition)

Entwurf

Vergleich Kinder vs. Erwachsene

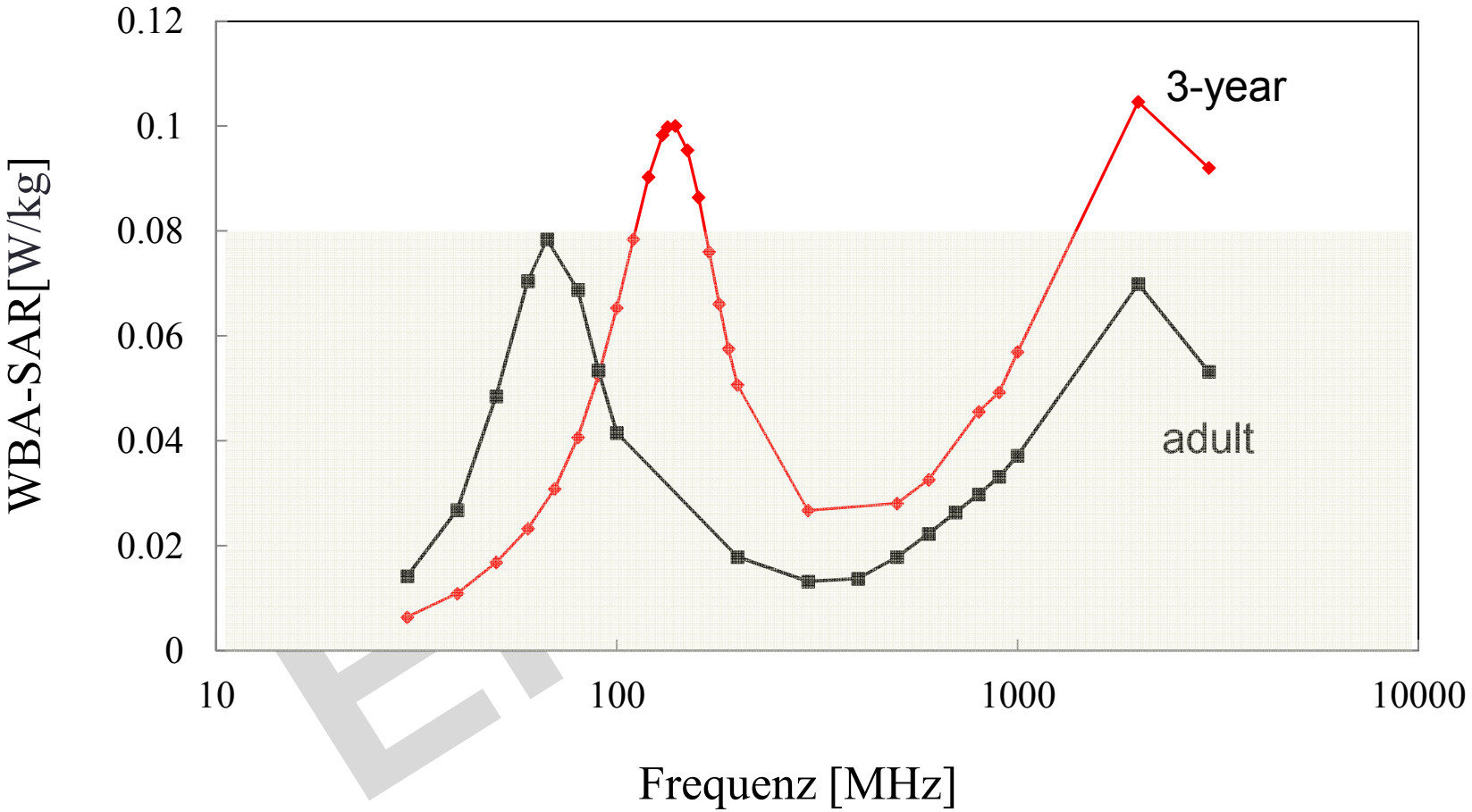
0.4 W/kg, homogenes Feld



Hirata, et al.
Phys.Med.Biol., 2013

- Bei 30 MHz Δt_{core} =0.37x0.4=**0.15 °C für Erwachse und 0.06 °C für Kind.**
- >0.4 W/kg lineare Extrapolation nicht gültig wegen Aktivierung Thermoregulation
- Schwelle für Aktivierung Thermoregulation: 0.5 bis 0.6 °C (Michaelson and Lin 1987).

Vergleich Kinder vs. Erwachsene



Hirata 2015 (Thermal damage workshop, Istanbul 2015)

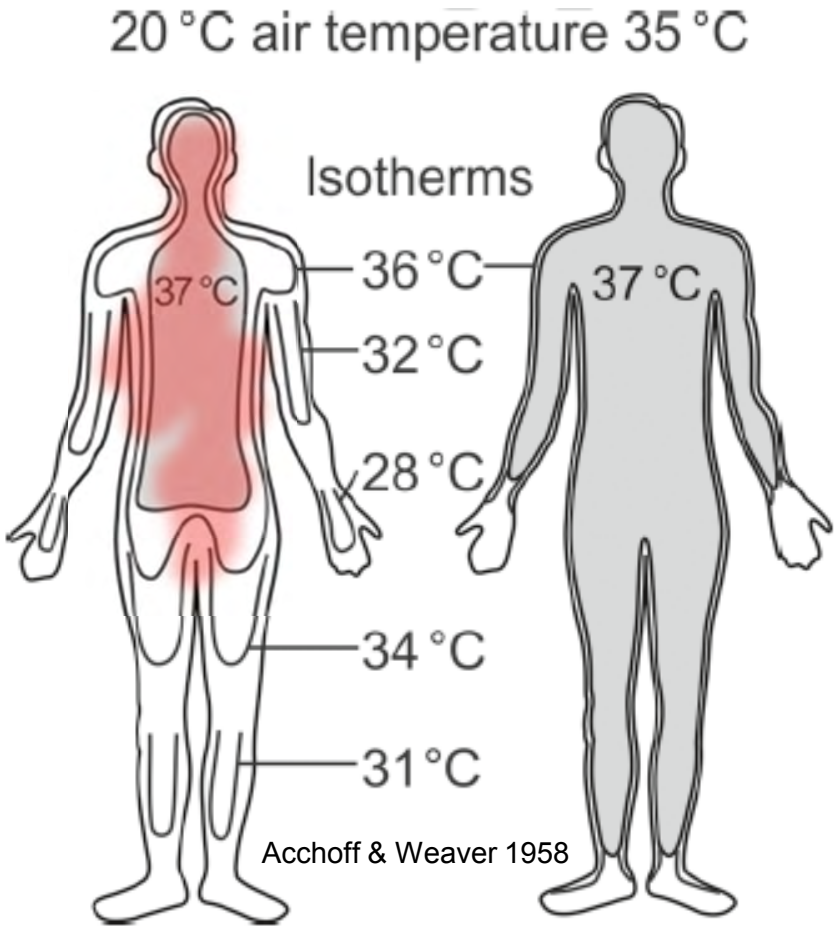
Vergleich Energieproduktion Körper

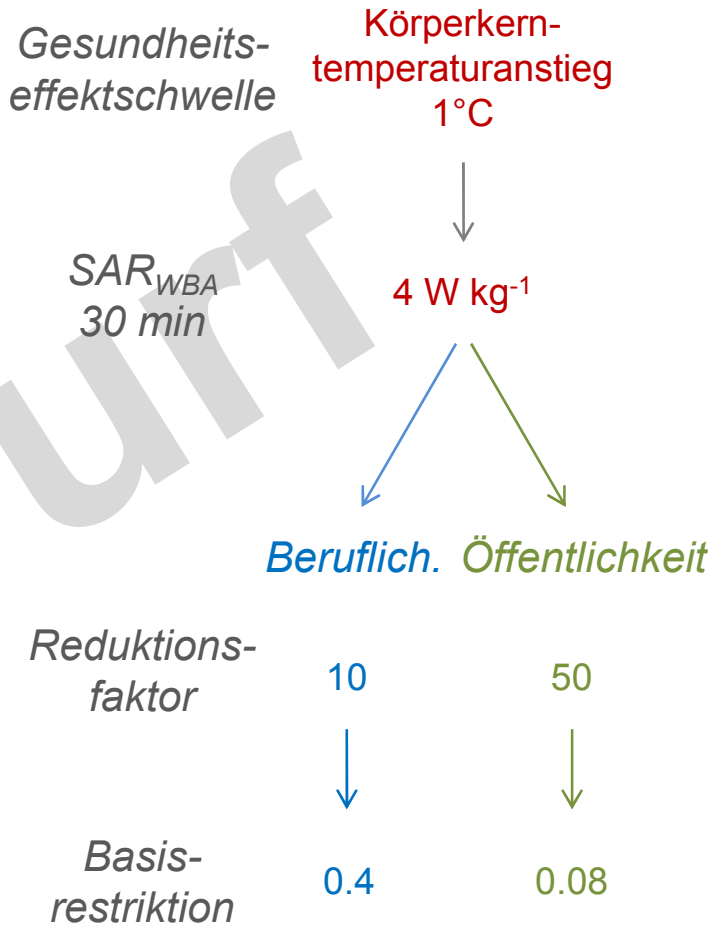
Vorkommen	Grössenordnung	Temperaturanstieg (nach 30 min.)
Sport, Spitzenwert	12-20 W/kg	>1°C
Grundumsatz	1 W/kg	nein
stehend	2 W/kg	-

Teunissen et al., 2007

Entwurf

Basisrestriktion: Ganzkörper





Lokale Exposition

- Gewebeschäden je nach Dauer der Exposition ab einer Temperatur von >41-43°C
- **Operationelle Gesundheitseffektschwelle: Lokale Temperatur >41 °C**
- **Typ-1 Gewebe** (normale Temperatur < 33-36 °C): **5 °C**
  - Arm, Hand, Bein, Fuss, Ohrmuschel, Hornhaut, vorder Augenkammer, Iris, Haut, Fett, Muskel und Knochengewebe
- **Typ-2 Gewebe** (normale Temperatur < 38.5 °C): **2 °C**
  - Alle Gewebe im Kopf, Auge, Bauch, Rücken, Brust, Becken ausser oben erwähnte Typ-1 Gewebe
  - **Spezialfall Hoden:** Spermatogenese ist auch bei <2°C reversibel beeinflusst (Mieusset and Bujan, 1995)

Entwurf

SAR und lokale Temperaturerhöhung

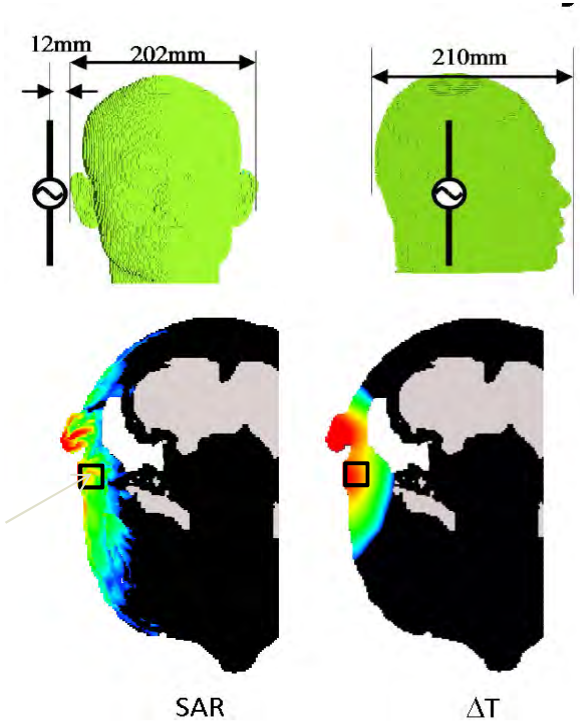
- Modelierung und Extrapolation:
  - ≤ 6 GHz: SAR_{10g} 20 W/kg: max. Temperaturanstieg 2°C
  - >6 GHz: Absorbierte Leistungsflussdichte (S_{ab})* von 200 W/m^2: max. Temperaturanstieg ~5 °C an der Oberfläche, weniger im Körper
- **Operationelle Gesundheitseffektschwelle:**
  - **100 kHz - 6 GHz:**
    1. **Kopf & Rumpf: lokale SAR_{10g}: 20 W/kg (6 min Durchschnitt)**
    2. **Gliedmassen: lokale SAR_{10g}: 40 W/kg (6 min Durchschnitt)**
  - **>6-300 GHz:**
    S_{ab} : 200 W/m^2 (Durchschnitt 6 min, 4 cm^2)
  - **30-300 GHz:**
    S_{ab} 400 W/m^2 (Durchschnitt 6 min, 1 cm^2)

*absorbiert=eintreffend-reflektiert

Entwurf

Welches Mittelungsvolumen?

6 GHz

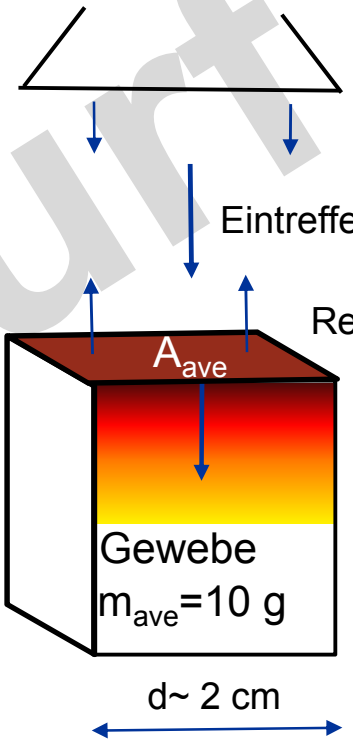


SAR_{10g}

10g besser für lange Exposition
1g ist besser für kurze (<<1 min) Exposition

Hirata, Istanbul 2015

>6 GHz

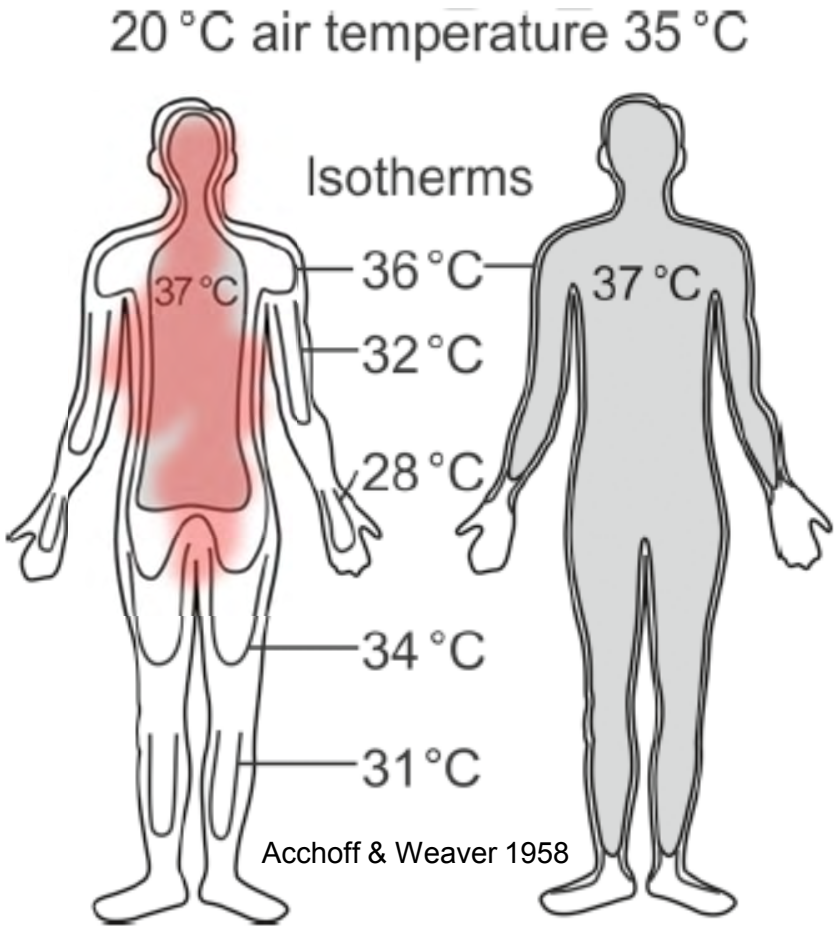


A_{ave} ~ 4 cm^2

Von K. Jokela

Entwurf

Basisrestriktion: lokal, <6 GHz, Kopf & Rumpf



Gesundheits-effektschwelle

Lokale Gewebe-temperaturanstieg 2°C

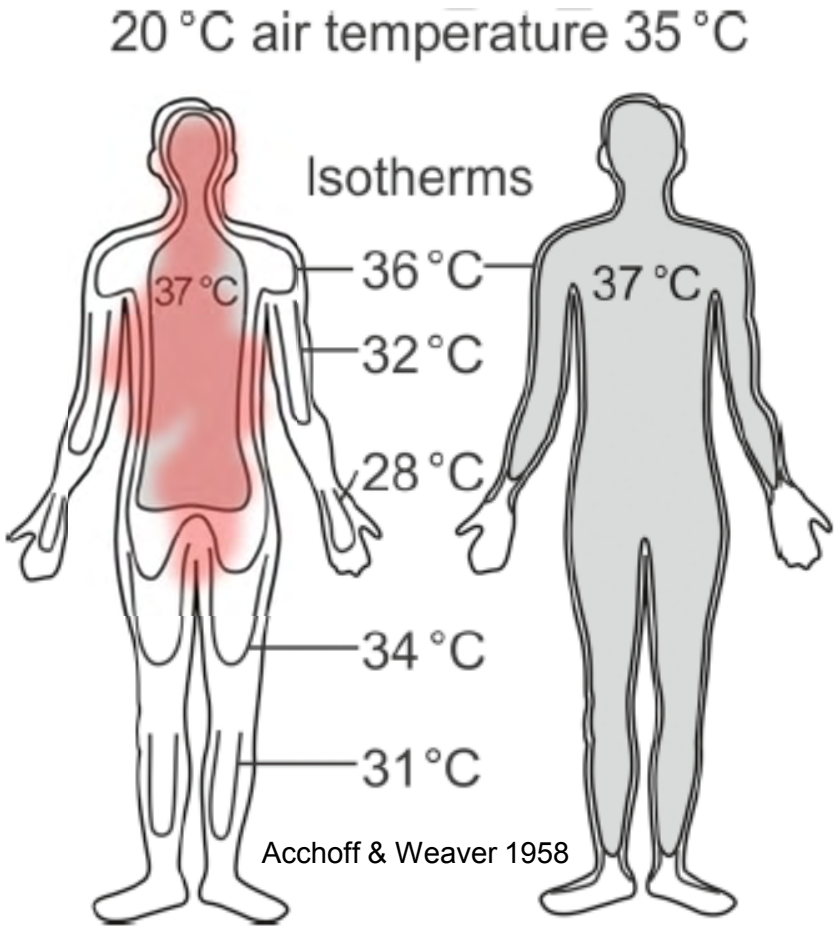
SAR_{10g} *6 min*

20 W kg^{-1}

Beruflich. *Öffentlichkeit*

	Beruflich.	*Öffentlichkeit*
Reduktions-faktor	2	10
Basis-restriktion	10	2

Basisrestriktion: lokal, <6 GHz, Gliedmassen



Gesundheits-effektschwelle

Lokale Gewebe-temperaturanstieg 5°C

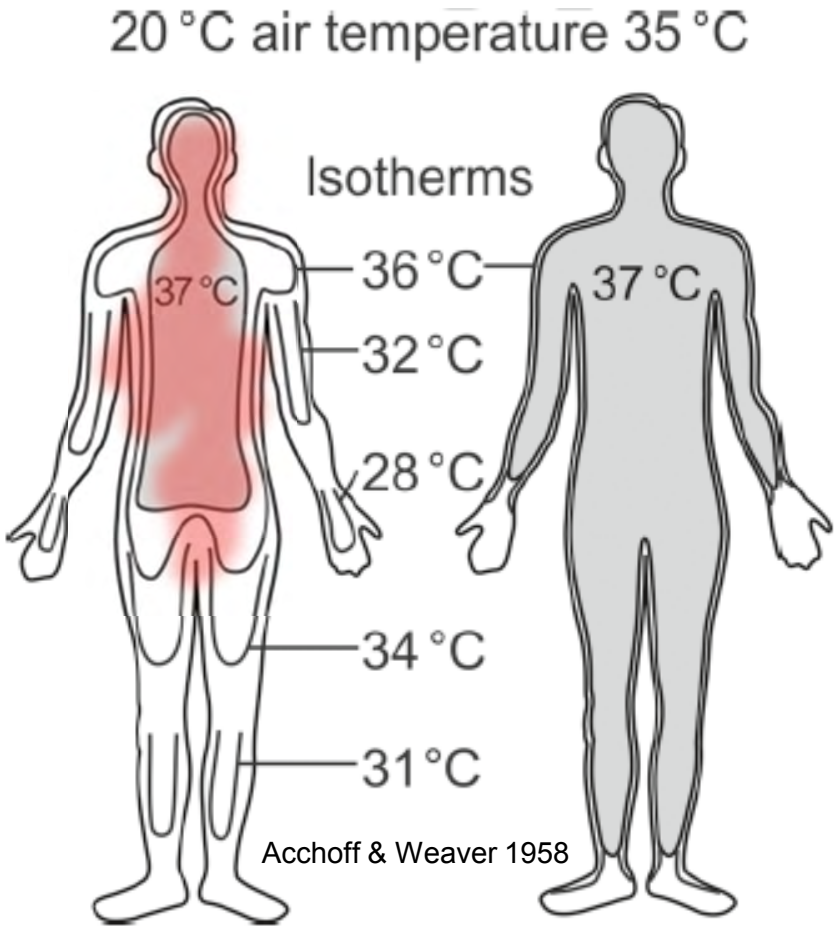
SAR_{10g} *6 min*

40 W kg^{-1}

Beruflich. *Öffentlichkeit*

	Beruflich.	*Öffentlichkeit*
Reduktions-faktor	2	10
Basis-restriktion	20	4

Basisrestriktion: lokal, >6 GHz, alle



Gesundheits-effektschwelle

Lokale Gewebe-temperaturanstieg 5°C Typ 1

S_{ab}, 6 min
6-30 GHz: 4cm²;
30-300 GHz: 1cm²

200 W m^{-2}

	Beruflich.	Öffentlichkeit
Reduktions-faktor	2	10
Basis-restriktion	100	20

Zusammenhang SAR_{WB} und SAR_{10}

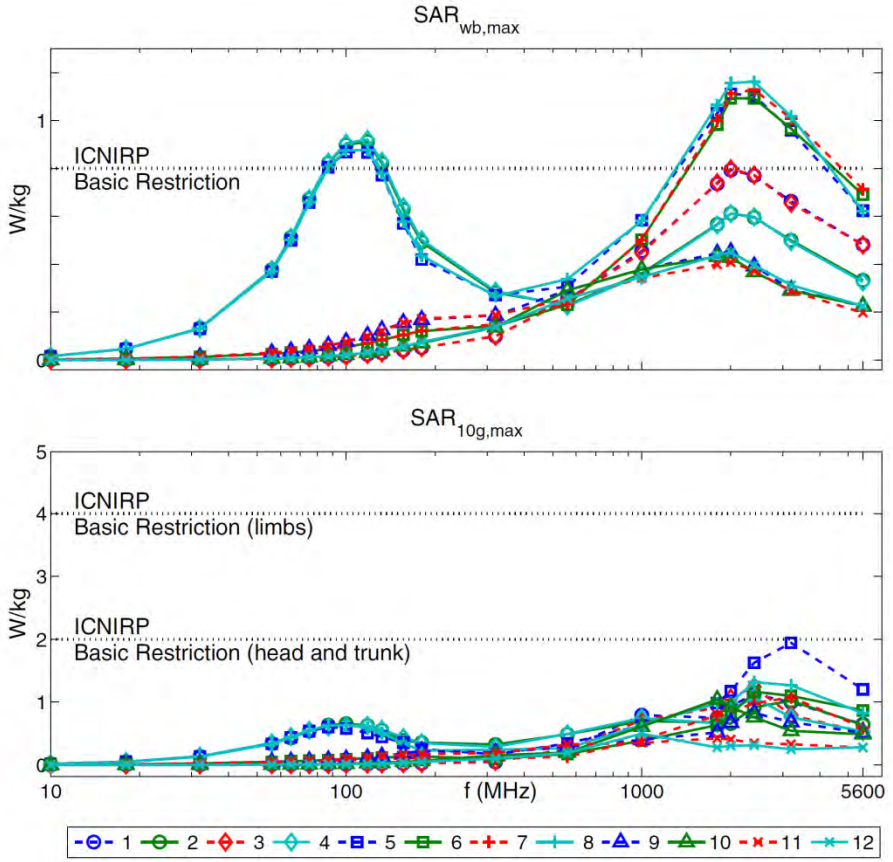


Figure 3. SAR_{wb} (top) and SAR_{10g} (bottom) for exposure at the ICNIRP reference level in the Thelonious model for 12 plane wave configurations.

Bakker et al, PMB, 2010

Schnelle Temperaturerhöhung

- Rasche Temperaturerhöhung kann Hot Spots und heterogene Temperaturverteilung kreieren (Foster et al, 2016)
- Je höher die Frequenz desto relevanter (zu lokalisiert für Verteilung im Gewebe)
- **Operationelle Gesundheitseffektschwelle als Funktion der Zeit**
  - **<400 MHz:**
    Nicht relevant
  - **400 MHz – 6 GHz: Energieabsorption (SA) pro *10 Gramm Gewebe***
    1. **Kopf & Rumpf: $SA=7.2(0.05+0.95(t/360)^{0.5})$ kJ kg-1**
    2. **Gliedmasse: $SA=14.4(0.025+0.975(t/360)^{0.5})$ kJ kg-1**
  - **>6 GHz: Energieabsorption (SA) pro *4 cm^2***
    $72(0.05+0.95(t/360)^{0.5})$ kJ m^{-2}
  - **>30 GHz: Energieabsorption (SA) pro *1 cm^2***
    $144(0.025+0.975(t/360)^{0.5})$ kJ m^{-2}

Entwurf

Referenzwerte

- Komplex, Details sind wir am Lösen
- Abhängig:
  - Arbeitende / Allgemeinbevölkerung
  - Nahfeld / strahlendes und reaktive Nahfeld
  - Ganzkörper / lokale Exposition

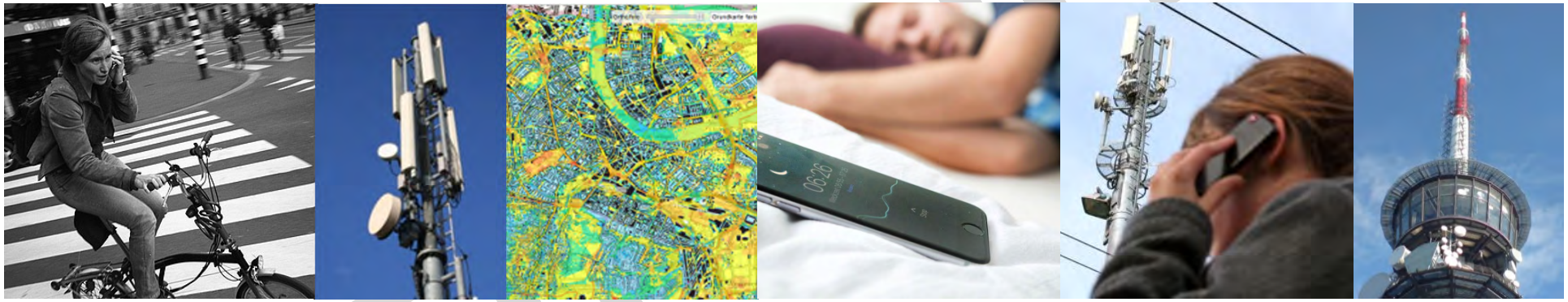
Entwurf

Was hat sich geändert?

- Wenig
- Differenzierter in Bezug auf zeitliche und räumliche Mittelung, aber Datengrundlage immer noch dünn
- Berücksichtige Wirkungen:
  - Erwärmung
  - Kontaktströme (<110 MHz, Risikomanagement wenn >20 mA)
  - Stimulierung Nerven (von ICNIRP, 2010 übernommen)
  - Andere Wirkungen evaluiert
- Früher:
  - SAR bis 10 GHz, darüber Leistungsflussdichte
- Jetzt:
  - *Ganzkörper* SAR bis 300 GHz
  - *lokale* SAR bis zu 6 GHz
  - 6-300 GHz: *absorbierte* (=eintreffende-reflektierte) Leistungsflussdichte

Entwurf

Fragen?



Entwurf