

Electromagnetic Biology and Medicine, Early Online: 1–18, 2011  
 Copyright © Informa Healthcare USA, Inc.  
 ISSN: 1536-8378 print / 1536-8386 online  
 DOI: 10.3109/15368378.2011.622827

**informa**  
healthcare

# Expositionsgrenzwerte: Die Unterschätzung der aufgenommenen Handystrahlung, insbesondere bei Kindern

Om P. Gandhi<sup>1</sup>, L. Lloyd Morgan<sup>2</sup>, Alvaro Augusto de Salles<sup>3</sup>, Yueh-Ying Han<sup>4</sup>, Ronald B. Herberman<sup>2,5</sup> & Devra Lee Davis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical and Computer Engineering, University of Utah, Salt Lake City, Utah, USA, <sup>2</sup>Environmental Health Trust, Teton Village, Wyoming, USA, <sup>3</sup>Electrical Engineering Department, Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil, <sup>4</sup>Department of Epidemiology and Community Health, School of Health Sciences and Practice, New York Medical College, Valhalla, New York, USA, and <sup>5</sup>Intrexon Corp., Germantown, Maryland, USA

**Originaltitel: Exposure Limits: The underestimation of absorbed cell phone radiation, especially in children**

Electromagnetic Biology and Medicine, Early Online: 1–18, 2011 Copyright © Informa Healthcare USA, Inc. ISSN: 1536-8378print / 1536-8386; online DOI: 10.3109/15368378.2011.622827

Übersetzung: Reinhard Tillack für Diagnose-Funk. Veröffentlicht mit freundlicher Genehmigung der Autoren. Herausgegeben mit Unterstützung der Kompetenzinitiative e.V. Es gilt der englische Originaltext.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>Geschichtlicher Rückblick auf die Überprüfung der Exposition, Richtlinien und Festlegung von Grenzwerten</b>	<b>3</b>
<b>Auswirkungen chronischer Exposition</b>	
In - Vivo - und In - Vitro Studien Hirnkrebsstudien	7
Tumore der Speicheldrüse	8
Fruchtbarkeit bei Männern / Leukämie	9
<b>Zwei SAR - Zulassungsverfahren für Handys</b>	
Das SAM - basierte Handy -Zulassungsverfahren	10
Das Zulassungsverfahren auf Grundlage der Computersimulation	11
Ergebnisse beider Verfahren im Vergleich	12
<b>Diskussion</b>	<b>14</b>
<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>17</b>
<b>Referenzen</b>	<b>18</b>

## ZUSAMMENFASSUNG

Beim gegenwärtigen Zulassungsverfahren für Handys wird das Plastikmodell eines Kopfes verwendet, welches als "Specific Anthropomorphic Mannequin" (SAM) [= "spezifische menschenähnliche Puppe"] bezeichnet wird, und welches die größten 10% der Rekruten des US-Militärs im Jahr 1989 widerspiegelt und somit die spezifische Absorptionsrate [= Specific Absorption Rate (SAR)] für typische Handynutzer, insbesondere Kinder, stark unterbewertet.

Ein qualitativ besseres Zulassungsverfahren auf der Grundlage einer Computersimulation wurde von der "Federal Communications Commission" (FCC) [= amerikanische Bundesbehörde für Kommunikationsmittel] bewilligt, es wird aber bei der Zulassung von Handys nicht verwendet. In den USA legt die FCC die zulässigen Expositionsobergrenzen fest. Viele Länder, insbesondere EU-Mitgliedsstaaten, verwenden "Richtlinien" der "International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection" (ICNIRP) [= Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung], einer nicht-staatlichen Institution.

Ein Kopf, der kleiner ist als der des SAM-Modells, nimmt bei der Exposition gegenüber Funkfrequenzstrahlung im Verhältnis einen höheren SAR-Wert auf. Zudem wird beim SAM-Modell eine Flüssigkeit verwendet, welche eine durchschnittliche Verhaltensweise des Kopfgewebes aufweist und somit weder Unterschiede in der Aufnahme durch spezielle Hirngewebe aufzeigen kann, noch die Aufnahme der Strahlung bei Kindern oder kleineren Erwachsenen. Der SAR-Wert bei einem 10-Jährigen ist bis zu 153% höher als der SAR-Wert beim SAM-Modell. Wenn elektrische Eigenschaften berücksichtigt werden, kann die Strahlungsaufnahme durch einen Kinderkopf mehr als zweimal höher und die Aufnahme durch das Knochenmark des Schädels zehnmal höher liegen als bei Erwachsenen. Deshalb wird ein neues Zulassungsverfahren benötigt, welches unterschiedliche Nutzungsarten, Kopfgrößen und Gewebeeigenschaften mit berücksichtigt. Modelle auf anatomischer Grundlage sollten verwendet werden, um die Sicherheitsnormen für diese allgegenwärtigen modernen Geräte zu überarbeiten und die Normen sollten von rechenpflichtigen, unabhängigen Gruppen festgelegt werden.

## EINFÜHRUNG

### Geschichtlicher Rückblick auf die Überprüfung der Exposition, Richtlinien und Festlegung von Grenzwerten.

#### August 1974

1974 wurde in einer Studie festgestellt, dass innerhalb bestimmter Frequenzbänder aufgrund von Resonanz die Strahlungsaufnahme bei Menschen bis zu 9mal höher ist als zuvor angenommen worden war. (Gandhi, 1974)

#### 1975

Verhaltensstudien an unter Nahrungsentzug befindlichen Ratten wurden durchgeführt. Sie hatten gelernt, einen Hebel zu drücken, um Nahrungsmittel zu erhalten. Es wurde festgestellt, dass dressierte Ratten bereits bei einem durchschnittlichen SAR-Gesamtkörperexpositionswert von 1 W/kg bei Mikrowellenexpositionen von unter 20 Minuten sich nicht mehr um den Nahrungserhalt bemühten (D'Andrea et al., 1975). Die Auswirkung war reversibel und die Tiere vollzogen das Hebeldrücken für den Nahrungserhalt in zuverlässiger Weise an darauffolgenden Tagen nach der Exposition. Dieses Expositions-niveau erhöhte die Temperaturen im Innern des Körpers, welche mit in den Unterleib eingeführten Thermometern gemessen wurden. Man zog die Schlussfolgerung, dass die aufgenommene elektromagnetische Leistung der Grund war, warum unter Nahrungsentzug stehende Nagetiere sich nicht mehr um den Nahrungserhalt bemühten.

#### September 1982

Das "American National Standards Institute" (ANSI) [= Amerikanisches Institut für Normung] veröffentlichte 1982 den ersten Grenzwert für die Exposition gegenüber nicht-ionisierender Strahlung (NIR) auf der Grundlage der Dosimetrie. Das ANSI stellte fest, dass Auswirkungen auf das Verhalten, obwohl diese reversibel waren, bei einer Intensität zwischen 4 W/kg und 8 W/kg auftraten (ANSI, 1982, Seite 13). Der Ausschuss entschied sich für 4 W/kg auf der Grundlage, dass reversible Störungen bei akuten Expositionen zu irreversiblen Verletzungen bei chronischen Expositionen führen können und rechnete dann einen 10fachen Sicherheitsabstand für Menschen, die elektromagnetischen Feldern zwischen 300 kHz und 100 GHz ausgesetzt werden, mit ein. Es wurde keine Begründung an sich für die Höhe des Sicherheitsabstands gegeben, außer dass darüber Einvernehmen herrschte (ANSI, 1982, Seite 14).

Bei dem ANSI-Grenzwert wurde zum Ausdruck gebracht, dass der Grenzwert möglicherweise keinen ausreichenden Schutz bietet. "Es wurde erkannt, dass die spezifische Absorptionsrate (SAR), welche die Grundlage für die Begrenzung der Leistungsdichte bildet, nicht alle Faktoren berücksichtigt, die bei der Festlegung von sicheren Expositionsgrenzwerten von Bedeutung sein könnten. Erstens könnten andere Eigenschaften eines auftretenden Feldes die Gesundheit gefährden, wie z. B. die *Frequenz der Modulation* und *Leistungsspitzen*." [Hervorhebungen wurden hinzugefügt] Darüber hinaus wurde beim ANSI-Grenzwert angemerkt, dass die Datenbank, die sie verwendet hatten, keine "Beweise beinhaltete, um besondere Vorsichtsmaßnahmen bei modulierten Feldern zu empfehlen" (ANSI, 1982, Seite 14; siehe den darunter befindlichen Abschnitt zu "In-Vivo und In-Vitro-Studien").

Das ANSI legte einen Grenzwert fest für die Ganzkörperexposition von 0,4 W/Kg als Durchschnittswert über einen 6-minütigen Zeitraum, sowie einen 20mal höheren räumlichen Spitzen-SAR Expositionswert von 8 W/Kg für ein einzelnes Gramm Gewebe als Durchschnittswert für einen 6-minütigen Zeitraum. Dadurch wurden faktisch viel höhere Expositionen innerhalb des kleinen Bereichs des Gehirns erlaubt als für den gesamten Körper erlaubt sind. Es wurde kein Grund genannt, warum dies erlaubt wurde. Beim ANSI-Grenzwert wurde angemerkt, dass die Resonanzfrequenz (70 MHz) "zu einer ungefähr siebenfachen Zunahme bei der Strahlungsaufnahme führt als dies bei einem Feld von 2450 MHz der Fall ist" (ANSI, 1982, Seite 12). Die Absicht dieses Grenzwertes war es, die "exponierten Menschen vor allen denkbaren Schädigungsmechanismen zu schützen, einschließlich solcher, die durch eine zu starke Erhöhung der Temperatur ausgelöst werden." (ANSI, 1982, Seite 12, Kursivdruck im Original). Beim ANSI-Grenzwert wurde gefordert, dass alle fünf Jahre eine erneute Überprüfung und ggf. Neuanpassung des Grenzwerts stattfindet. (ANSI, 1982, Seite 11)

## 1987 – 1988

Obwohl das ANSI über keine medizinischen Fachkenntnisse verfügte, übergab es die Festlegung von Expositionsgrenzwerten dem "Institute of Electrical and Electronic Engineers" (IEEE) [= Institut für Elektro- und Elektronik-Ingenieure], einer Berufsvereinigung von Elektro- und Elektronik-Ingenieuren aus der Elektronikindustrie sowie aus dem Hochschulbereich. Das IEEE ist nicht vorrangig eine Organisation, die sich mit medizinischer oder biologischer Ausrichtung oder mit Fragen des öffentlichen Gesundheitsschutzes befasst.

## September 1991

1991 hatte das IEEE zum ersten Mal den ANSI-Grenzwert überarbeitet (IEEE, 1991), welcher sich seither nicht mehr wesentlich verändert hat, obwohl durch den Standard C91.1 in den Jahren 2005 – 2006 geringfügige Änderungen vorgenommen wurden. Diese Veränderungen wurden vom FCC nicht übernommen. Das Institut hat ein zweigleisiges System eingerichtet: Eines für die allgemeine Bevölkerung innerhalb einer "unkontrollierten Umgebung" und eines für Arbeitnehmer in einer "kontrollierten Umgebung". Letztere wurde definiert als "Orte, an denen es zu Expositionen kommt, die von Personen ausgelöst werden, die sich der Möglichkeit von Expositionen als Begleiterscheinung ihrer Arbeit bewusst sind ... wo ... die Expositionintensitäten folgende Werte aufweisen dürfen: [Bis zu einen Ganzkörper-SAR-Wert von 0,4 W/Kg für jedes Gramm Körpergewebe als Durchschnitt über 6 Minuten und einen räumlichen SAR-Spitzenwert von 8 W/Kg für jedes Gramm Körpergewebe als Durchschnitt über 6 Minuten]." Für die allgemeine Bevölkerung wurde bei der Überarbeitung des ANSI-Grenzwerts durch das IEEE der durchschnittliche SAR-Wert für die Gesamtkörperexposition sowie der räumliche Spitzenwert um den Faktor fünf verringert. Diese Verringerung wurde empfohlen, weil man besorgt darüber war, dass die allgemeine Bevölkerung auch eine große Spannweite von Altersgruppen, Empfindlichkeiten und Gesundheitszuständen umfasste und es in einigen Situationen auch zu 24stündigen Expositionen täglich kommen kann. Bei der Erklärung zur Senkung der Expositionsgrenzwerte für die allgemeine Bevölkerung, wurde zum IEEE-Grenzwert angemerkt: "Für manche wäre es attraktiver und logischer, einen größeren ... Sicherheitsfaktor ... für die allgemeine Bevölkerung anzuwenden. In Argumenten für einen solchen Schritt werden empfindlichere Untergruppen genannt (Kleinkinder, alte Leute, Kranke und Behinderte), eine potentiell längere Expositions-dauer (24 Stunden pro Tag im Gegensatz zu 8 Stunden pro Tag) ... , [und] freiwillige im Gegensatz zur unfreiwilligen Expositionen. Nicht-thermische Wirkungen, wie das Austreten von Kalziumionen aus Hirngeweben werden auch als mögliche Gesundheitsrisiken erwähnt." (IEEE, 1991, Seite 23) Für die allgemeine Bevölkerung wurde beim Grenzwert für die durchschnittlich zulässige Gesamtkörperexposition ein SAR-Wert von 0,08 W/Kg als Durchschnittswert für einen 30-Minuten-Zeitraum festgelegt und als räumlicher SAR-Spitzenwert für jedes Gramm des Körpergewebes ein Durchschnittswert von 1,6 W/kg für einen 30-Minuten-Zeitraum festgelegt (IEEE, 1991, Seite 17).

Da die sich ergebende spezifische Absorption (SA) für die allgemeine Bevölkerung in einer unkontrollierten Umgebung gleich ist wie für Arbeitnehmer in einer kontrollierten Umgebung ( $0,08\text{W/Kg} \cdot 30\text{ Minuten} = 0,4\text{ W/kg} \cdot 6\text{ Minuten}$ ), ist ein "größerer Sicherheitsfaktor" für die allgemeine Bevölkerung nicht vorhanden.

Der Wortlaut des IEEE bezüglich des 20fach größeren räumlichen SAR-Spitzenwerts im Vergleich zum Gesamtkörper-SAR-Wert ging über den Grenzwert des ANSI, den er ersetzte, hinaus. Die IEEE-Norm hatte folgenden Wortlaut: " ... die räumlichen SAR-Spitzenwerte können die durchschnittlichen Gesamtkörperwerte um einen Faktor von mehr als 20 übersteigen." (IEEE, 1991, Seite 25)

Zwanzig Jahre später bleibt diese Norm immer noch unverändert bestehen, trotz geringfügiger Änderungen in den Jahren 2005 – 2006.

## 1992

Im Jahr 1992 übernahm das ANSI die Norm des IEEE von 1991. Sie hatte die Bezeichnung ANSI/IEEE C95.1-1992, aber ein Exemplar dazu ist nicht mehr öffentlich verfügbar (C. K. Chou, Personal Communications, 18. Juli 2011).

## Oktober 1997

Im Jahr 1996 veröffentlichte die FCC die ersten US-Regulierungen hinsichtlich der Höchstintensität bei Handystrahlung, die zu erlauben ist, wobei sie die Norm ANSI/IEEE C95.1-1992 übernahm, welche

ab dem 15. Oktober 1997 Gültigkeit hatte. Im "Bulletin 65" der FCC wurde beschrieben, wie man die Einhaltung der FCC-Regulierungen zur menschlichen Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern bewerten muss (Cleveland et al., 1997). Die Expositionsgrenzwerte des FCC waren und sind weiterhin identisch mit der IEEE-Norm von 1991. Die SAR-Werte, die von der FCC übernommen wurden, betragen:

(1) Für Expositionen bei der Arbeit betragen diese "0,4 W/Kg als Durchschnittswert für den ganzen Körper und einen räumlichen SAR-Spitzenwert von höchstens 8 W/Kg als Durchschnittswert für jedes Gramm Gewebe (definiert als Gewebevolumen in der Form eines Würfels). Ausnahmen bilden die Hände, Handgelenke, Füße und Fußgelenke, wo der räumliche SAR-Spitzenwert 20 W/Kg als Durchschnittswert für jeweils 10 Gramm Gewebe (definiert als Gewebevolumen in Form eines Würfels) [als Durchschnittswert für einen 6-minütigen Zeitraum] nicht übersteigen darf."

(2) Für Expositionen der allgemeinen Bevölkerung betragen diese "0,08 W/Kg als Durchschnittswert für den ganzen Körper und einen räumlichen SAR-Spitzenwert von höchstens 1,6 W/Kg als Durchschnittswert für jedes Gramm Gewebe (definiert als Gewebevolumen in der Form eines Würfels). Ausnahmen bilden die Hände, Handgelenke, Füße und Fußgelenke, wo der räumliche SAR-Spitzenwert 4 W/Kg als Durchschnittswert über 10 Gramm Gewebe (definiert als Gewebevolumen in Form eines Würfels) [als Durchschnittswert über einen 30-Minuten-Zeitraum] nicht überschreiten darf."

Abermals bestand kein "höherer Sicherheitsfaktor" für die allgemeine Bevölkerung im Vergleich zu Arbeitnehmern. Es ist hervorzuheben, dass diese Ausnahmen das Ohr (auch bezogen auf die Ohrmuschel) nicht mit einschlossen. Wie wir im weiter unten befindlichen Abschnitt über das "SAM-basierte Handy-Zulassungsverfahren" erfahren werden, ist der Ausschluss des Ohres von Bedeutung.

## Dezember 1997

Vier Monate später veröffentlichte die FCC den Anhang C, in welchem unter Anderem zusätzliche Informationen zur Zulassung von "tragbaren Geräten" (auch Handys) enthalten sind. In der Einführung steht: "Gegenwärtig arbeiten Gruppen der Industrie und anderer Organisationen daran, standardisierte Produktprüfverfahren zu entwickeln, um bei der Funkfrequenzexposition die Einhaltung ... der SAR-Grenzwerte zu bewerten." (Chan et al., 1997, Seite 1). [Siehe Juni 2001 weiter unten.] Da dies vor der Einführung des SAM-basierten Handy-Zulassungsverfahrens war, merkt der Anhang C mehrere Besorgnisse bezüglich des bestehenden Handy-Zulassungsverfahrens an:

(1) "Das Fehlen standardisierter Testpositionen zur Bewertung von Mobiltelefonen kann zu Schwierigkeiten führen, die Einhaltung der SAR-Werte bei Funkfrequenzstrahlung festzustellen;" (Chan et al., 1997, Seite 1 – 2).

(2) Die Flüssigkeit, die verwendet wird, um die durchschnittlichen elektrischen Eigenschaften des Kopfes eines Erwachsenen zu simulieren, war zu jener Zeit noch nicht standardisiert, "Die Permittivität und Leitfähigkeit einer Simulationsflüssigkeit, welche für die SAR-Bewertung vorbereitet wird, müssen gemessen werden, um zu gewährleisten, dass diese angemessen sind ... Diese Bestimmungsfaktoren werden gewöhnlich in regelmäßigen Abständen gemessen oder vor jeder SAR-Bewertung, um festzustellen, ob noch eine angemessene Menge an Wasser hinzugefügt werden muss ... " (Chan et al., 1997, Seite 12)

(3) "Die meisten Testeinrichtungen verwenden unterschiedliche Kopfmodelle, um Mobiltelefone an der linken und rechten Kopfseite zu testen. Während einige Modelle über Ohren verfügen, ist dies bei anderen nicht der Fall. Einige haben auch eine Distanzvorrichtung, die einem Ohr entsprechen soll." (Chan et al., 1997, Seite 12)

Während es eine standardisierte Methode zur Zulassung bestimmter SAR-Werte für jedes Telefon gab, war diese von einer Zulassungsstelle zur nächsten nicht replizierbar.

Ein anderes Zulassungsverfahren im Anhang C war die Computersimulation. "Gegenwärtig ist die Finite-Differenzen-Methode (Englisch: finite-difference time-domain = FDTD) die weithin anerkannteste Berechnungsmethode für SAR-Modelle. Diese Methode kann sehr gut angepasst werden an die Gewebemodelle, die gewöhnlich aus Magnetresonanztomographien und Computertomographien gewonnen werden, so wie solche des Visible Human Project [siehe Ausführungen über die "virtuelle Familie" weiter unten]. Die Finite-Differenzen-Methode (FDTD) bietet eine größere Flexi-

bilität bei der Modellerstellung von ungleichmäßigen Strukturen bei Körpergeweben und Organen. Die Finite-Differenzen-Methode (FDTD) wurde während der letzten drei Jahrzehnte bei vielen elektromagnetischen Anwendungen mit Fernfeldern verwendet. Mit den jüngsten Fortschritten in der Computertechnik ist es möglich geworden, diese Methode auch bei Nahfeldanwendungen anzuwenden, um Mobiltelefone zu bewerten." (Chan et al., 1997, Seite 16).

#### **April 1998**

Im Jahr 1998 gab eine nicht-staatliche Organisation namens "International Commission on Non-ionizing Radiation Protection" (ICNIRP, 1998) [Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung] "Richtlinien" heraus. Die ICNIRP folgte der Richtung des IEEE, indem es dasselbe zweigliedrige System übernahm, mit der Ausnahme, dass sowohl für Expositionswerte für die allgemeine Bevölkerung als auch für Arbeitsplätze ein Durchschnittswert für einen 6-Minuten-Zeitraum festgelegt wurde. Die Richtlinie der ICNIRP für Fernfelder lautete: "Ein SAR-Durchschnittswert für die Gesamtkörperexposition von 0,4 W/Kg -1 wurde deshalb bestimmt als Grenzwert, der einen ausreichenden Schutz für Expositionen am Arbeitsplatz bietet. Ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor von fünf wurde eingeführt für die Exposition der allgemeinen Bevölkerung, womit ein SAR-Wert von 0,08 W/Kg -1 für die durchschnittliche Ganzkörperexposition angegeben wurde." Für die Exposition der allgemeinen Bevölkerung wurde als höchster räumlicher SAR-Spitzenwert 2,0W/kg als Durchschnittswert für 10 Gramm festgelegt, für Expositionen am Arbeitsplatz wurde ein SAR-Wert von 10 W/Kg bestimmt (ICNIRP, 1998, Seite 509).

Viele Regierungen haben ihre Expositionsgrenzwerte auf der Grundlage der ICNIRP-"Richtlinien" festgelegt oder empfehlen diese. Die britische Gesundheitsschutzbehörde [ = Health Protection Agency (HPA) ] beispielsweise erklärt auf ihrer Website: "Es gibt kein ausdrückliches britisches Gesetz, welches die Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern begrenzt, einschließlich der Funkwellen, die beim Mobilfunk verwendet werden." Des Weiteren wird ausgesagt: "Die Empfehlung enthält die Expositionsbegrenzungen für die allgemeine Bevölkerung, zu denen die ICNIRP in ihren Richtlinien von 1998 rät." (HPA, 2010)

In den Richtlinien der ICNIRP gab es keine Empfehlungen darüber, wie Handys zugelassen werden sollen. Es wurde angemerkt: "Diese Richtlinien befassen sich weder unmittelbar mit Normen zum Produktverhalten, deren Ziel es ist, die EMF-Strahlung nach festgelegten Testbedingungen zu begrenzen, noch befasst sich das Dokument mit den Techniken, die verwendet werden, um irgendwelche physikalischen Größen bezüglich elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern zu messen. Umfassende Beschreibungen von Messausrüstung und Messtechniken, um solche physikalischen Größen zu bestimmen, kann man an anderer Stelle finden (NCRP, 1981, 1993; IEEE, 1992; DIN VDE, 1995)" (ICNIRP, 1998, Seite 2).

#### **Juni 2001**

Im Jahr 2001 wurde der Anhang C des FCC überarbeitet. (Means und Chan, 2001) Zum ersten Mal gab es ein genormtes und wiederholbares, wenn auch nicht zwangsläufig zuverlässiges von der Industrie konzipiertes (siehe Dezember 1997 weiter oben) SAR-Zulassungsverfahren für Handys (das Handy-Zulassungsverfahren auf der Grundlage der SAM-Puppe). Dennoch bot das FCC weiterhin als Alternative das Zulassungsverfahren auf Grundlage einer Computersimulation an, wobei es die Wahl der Ausgabe vom Dezember 1997 wiederholte (mit geringfügigen Veränderungen der Wortwahl) und dann hinzufügte: "Die Finite-Differenzen-Methode (FDTD) bietet eine große Flexibilität bei der modellhaften Nachbildung von ungleichmäßigen Strukturen von Körpergeweben und Organen." (Means und Chan, 2001, Seite 13).

## AUSWIRKUNGEN CHRONISCHER EXPOSITION

Sämtliche Expositionsgrenzwerte und/oder Richtlinien hatten die Vermeidung akuter Hitzeeinwirkungen als Grundlage, welche erstmalig bei Ratten beobachtet wurden, die unter Nahrungsentzug standen (Chou et al., 2006). Chronische Auswirkungen von Intensitäten nicht-ionisierender Strahlung, die keine messbare Temperaturveränderung auslösten, wurden nicht berücksichtigt. Die Absicht der ANSI-Norm war es jedoch, den "exponierten Menschen von Schaden durch jeglichen Wirkungsmechanismus" zu schützen, nicht nur durch Erhitzung. Die erhöhte Sicherheitsmarge bei der IEEE-Norm hatte das Ziel, "Untergruppen mit höherer Empfindlichkeit" vor "unfreiwilligen Expositionen zu schützen, die sich über 24 Stunden am Tag erstrecken" sowie vor "nicht-thermischen Wirkungen wie das Austreten von Kalzium-Ionen aus Hirngewebe." Damals und heute gibt es viele Studien, die bedeutsame Auswirkungen von chronischer, nicht-thermischer Exposition gegenüber nicht-ionisierender Strahlung aufzeigen. (Siehe September 1991 weiter oben; und die BioInitiative Working Group, 2007).

Die folgenden Studien berichteten von schädlichen Auswirkungen. Dies ist aber keine umfassende Liste. Es gibt Studien, die oft von der Industrie finanziert werden (Huss et al., 2007), welche von keinen bedeutsamen Auswirkungen berichteten. Der Zweck dieses Abschnitts ist es, die Vielzahl von Studien zu beschreiben, die nahe legen, dass es hier ein Problem gibt.

### In-Vivo- und In-Vitro-Studien

Eine große Zahl von versuchsbasierten Studien unterhalb der Expositionsgrenzwerte weist darauf hin, dass gepulste digitale Strahlung von Handys eine ganze Reihe von biologischen Wirkungen auslöst, welche von einer Öffnung der Blut-Hirn-Schranke bis hin zu Schädigungen des Gehirns, der Leber und der Augen in Nachkommen von Kaninchen und Ratten reichen, die vor ihrer Geburt dieser Strahlung ausgesetzt waren. Die Auswirkungen reichen bis hin zu gentoxischen Wirkungen in menschlichen Zellen. (z.B. Nittby et al., 2009; Salford et al., 2003; Adlkofer, 2004; Schwarz et al., 2008; Guler et al., 2011; Mulak et al., 2011; Tomruk et al., 2010; Odaci et al., 2008).

Wenn menschliche Fibroblasten Mobilfunkstrahlung mit GSM-Modulation ausgesetzt wurden, fand man beim REFLEX-Projekt heraus, dass die gentoxische Wirkung bei einem SAR-Wert von 0,3 W/kg begann. (Adlkofer, 2004, Fig. 94, Seite 135) Bei einer anderen REFLEX-Studie, bei der menschliche Fibroblasten Mobilfunkstrahlung mit UMTS-Modulation ausgesetzt wurden, fand man Wirkungen schon bei SAR = 0,05 W/kg. (Schwarz et al., 2008) Laut diesen Studien liegt die gentoxische Schwelle bei einem Signal mit UMTS-Modulation 6mal niedriger als bei einem Signal mit GSM-Modulation. Andere Studien kamen allerdings nicht zu diesem Ergebnis. Dies legt nahe, dass die Sorge des ANSI von 1982, dass "andere Eigenschaften eines auftretenden Feldes wie dessen Modulationsfrequenz und Spitzenintensität ein Gesundheitsrisiko darstellen könnten", vorausschauend war, da die Pulsungsart von Signalen bedeutsamer sein kann als deren Stärke.

### Hirnkrebsstudien

Bei manchen Studien zu Hirntumoren bei langzeitiger Handynutzung wurde kein erhöhtes Risiko gefunden. Bei diesen Studien wurden im Allgemeinen Menschen beobachtet, die Handys für eine relativ kurze Zeit verwendet hatten. Bei intensiver Handynutzung von über einem Jahrzehnt haben mehrere epidemiologische Fallkontrollstudien ein deutlich erhöhtes Hirnkrebsrisiko festgestellt. Die größte Fallkontrollstudie zu Hirntumoren war die von 13 Ländern durchgeführte, sowie von Regierungen und Industrie gemeinsam finanzierte Interphone-Studie mit 2.708 Fällen und 2.972 Kontrollpersonen zu Gliomen, den gefährlichsten unter vielen Hirnkrebsarten, wobei man sich auf Personen im Alter von 30 – 59 Jahre beschränkte (Die Interphone-Gruppe, 2010). Dabei wurden die Risiken von Handys, nicht aber von schnurlosen Telefonen, untersucht. Die zweitgrößte Fallkontrollstudie zu Hirntumoren wurde in Schweden durchgeführt, von Dr. Lennart Hardell und seinem Team, ohne finanzielle Unterstützung durch die Industrie. Nach dieser Studie gab es 1.251 Hirnkrebsfälle und 2.438 Kontrollpersonen (Hardell et al., 2011), und es wurde das Risiko aller bösartigen Hirntumore untersucht, nicht nur von Gliomen, sowohl von Handynutzern als auch von Nutzern schnurloser Telefone, wobei das Alter der Personen zwischen 20 und 80 Jahren lag. Im Mai 2010 veröffent-

lichte die Interphone-Studie die ersten zusammengetragenen Ergebnisse aus allen 13 Ländern. Es wurde von keinem insgesamt erhöhten Hirnkrebsrisiko (nur Gliome) unter kurzzeitigen Handynutzern berichtet, aber es wurde ein mehr als doppelt so hohes Hirnkrebsrisiko festgestellt, wenn Handys für 10 Jahre oder mehr verwendet wurden, im Vergleich zu kurzzeitigen Nutzern (1 – 1,9 Jahre) Quotenverhältnis = 2,18, 95%; Konfidenzintervall = 1,43 – 3,31. (Die Interphone-Gruppe, 2010)

Im Gegensatz dazu fand die Studie von Hardell et al. aus dem Jahr 2011 ein Risiko bezüglich bösartiger Hirntumore bei einer Nutzung von Handys oder schnurlosen Telefonen von über 5 – 10 Jahren, bei einer gesamten Telefonierzeit von über 195 Stunden, Quotenverhältnis = 1,4; 95%; Konfidenzintervall = 1,1 – 1,8 und bei  $\geq 10$  Jahren der Nutzung ein Quotenverhältnis von 2,4, 95%; Konfidenzintervall = 1,7 – 3,2. Zudem fand sie ein hohes Risiko beim Verhältnis von Dosis und Reaktion hinsichtlich aller Hirnkrebsarten. Für jedes Jahr seit der erstmaligen Nutzung eines kabellosen Telefons erhöhte sich das Risiko um 5,4 %, Quotenverhältnis = 1,054, 95% und Konfidenzintervall = 1,036 – 1,073. Möglicherweise am beunruhigendsten war das fünffach erhöhte Risiko von Astrozytomen, welche man in jenen Personen feststellte, die mit der Handynutzung im Alter von unter 20 Jahren begannen (Quotenverhältnis = 4,9, 95% und Konfidenzintervall = 2,2 – 11).

Eine Meta-Studie fand ein doppelt so hohes Risiko von Hirnkrebs, wenn Handys für 10 Jahre oder mehr immer an der gleichen Kopfseite (ipsilateral) verwendet wurden (der Tumor fand sich dabei auf der gleichen Seite, an der das Handy verwendet wurde), Quotenverhältnis = 2,0, 95%; Konfidenzintervall = 1,2 – 3,4. (Hardell et al., 2008) Bei einer anderen Meta-Studie fand man nach zehnjähriger ipsilateraler Nutzung ein beinahe doppelt so hohes Hirnkrebsrisiko, Quotenverhältnis = 1,9, 95% und Konfidenzintervall = 1,4 – 2,4 (Khurana et al., 2009).

Die allgemeine Hauptforscherin (Principal Investigator = PI) der Interphone-Studie, Dr. Elizabeth Cardis, hat gemeinsam mit dem israelischen Interphone-Hauptforscher Dr. Siegal Sadetzki einen Kommentar herausgegeben mit dem Titel "Indications of possible risk in mobile phone studies: should we be concerned?" [= "Anzeichen von möglichen Risiken bei Mobilfunkstudien: Gibt es Anlass zur Sorge?" ] Anhand der Beweislage für ein erhöhtes Risiko bezüglich Hirntumoren und Akustikusneurinomen zogen sie die Schlussfolgerung: "Einfache Maßnahmen, die wenig kosten, wie die Verwendung von SMS, Freisprecheinrichtungen und/oder des Lautsprechermodus beim Telefonieren können die Exposition des Gehirns gegenüber dem Handy deutlich verringern. Deshalb ist besonders jungen Leuten die Anwendung solcher Vorsichtsmaßnahmen anzuraten, bis endgültige wissenschaftliche Ergebnisse vorliegen." (Cardis und Sadetzki 2011)

Diese und weitere Forschungsergebnisse führten dazu, dass die Internationale Agentur für Krebsforschung (International Agency for Research on Cancer = IARC) zur Feststellung gelangte, dass Funkfrequenzstrahlung (30 kHz – 300 GHz) als Karzinogen [= krebserregender Gefahrstoff] der Klasse 2 B einzustufen ist ("ein potentielles Karzinogen bei Menschen") (Baan et al., 2011). Zu den Quellen von Funkfrequenzstrahlung gehören Handys, schnurlose Telefone, Bluetooth, der Amateurfunk, Mobilfunkbasisstationen, W-LAN-Router, W-LAN, Wi-Max, Babyphone und so genannte intelligente Stromzähler.

## Tumore der Speicheldrüse

Bei einer israelischen Interphone-Studie wurde ein deutlich erhöhtes Risiko von Tumoren der Ohrspeicheldrüse festgestellt (einer Speicheldrüse innerhalb der Backe unter dem Ohr) bei einer Gesamtdauer ipsilateraler Handytelefonate von mehr als 266,3 Stunden, Quotenverhältnis = 1,49, 95% und Konfidenzintervall = 1,05 – 2,13, wobei bei den stärksten Nutzern (bei einer Gesamtdauer von mehr als 4.479 Stunden) ein mehr als zweifach erhöhtes Risiko von nicht-bösartigen Ohrspeicheldrüsentumoren festgestellt wurde, Quotenverhältnis = 2,42, 95% und Konfidenzintervall = 1,14 – 5,11 für diesen Tumor (Sadetzki et al., 2008).

Eine schwedische Interphone-Studie zu Tumoren der Ohrspeicheldrüse fand ein geringfügig bedeutendes Risiko bei  $\geq 10$  Jahren ipsilateraler Handynutzung, Quotenverhältnis = 2,6, 95% und Konfidenzintervall = 0,9 – 7,9 (Löon et al., 2006).

Wissenschaftler, die bei der israelischen Zahnarztvereinigung (Israeli Dental Association) arbeiten, berichteten in 2009 von "einem starken Anstieg der Fälle von Speicheldrüsenkrebs in Israel, von dem Forscher glauben, dass er mit der Handynutzung in Zusammenhang stehen könnte ... Bei den Fällen von Speicheldrüsenkrebs fanden die Wissenschaftler einen beunruhigenden Anstieg der Fälle von



bösartigen Tumoren in den Ohrspeicheldrüsen." "Die meisten Mundkrebspatienten waren älter als 70 und weniger als 2,7 Prozent waren jünger als 20." (Even, 2009)

Im Zeitraum von 1970 – 2001 gab es in Israel durchschnittlich 37 Fälle von Ohrspeicheldrüsentumoren. Im Zeitraum von 2002 – 2006 erhöhte sich die Zahl der Fälle um 65% auf durchschnittlich 61 Fälle pro Jahr (Czerninski et al., 2011). Fig. 1 dieser Studie zeigt die Anzahl der Fälle pro Jahr für drei Arten von Speicheldrüsentumoren (der Ohrspeicheldrüse, der Unterkieferspeicheldrüse und der Unterzungspeicheldrüse) mit geglätteten Trendlinien. Nur die Linie zur Ohrspeicheldrüse nahm im Lauf der Zeit zu. Das Schaubild legt jedoch nahe, dass eine Analyse des Punkts, ab dem es eine deutliche Trendänderung gibt, noch aussagekräftiger wäre, da die Daten einen flachen Trend von 1970 bis Anfang der 90er Jahre nahe legen und danach einen linear scharf nach oben gehenden Trend.

## Fruchtbarkeit bei Männern

Es gibt eine aussagekräftige und steigende Anzahl von Fachliteratur, sowohl zu Tieren als auch zu Menschen, die aufzeigt, dass eine chronische Exposition gegenüber Handystrahlung weit unterhalb der aktuellen Grenzwerte den Aufbau (Morphologie), die Motilität (Beweglichkeit), die Lebensfähigkeit sowie die Anzahl der Spermien deutlich beeinträchtigt. Das Handy wird oft in der Hosentasche getragen, was bei Männern zu einer deutlichen Exposition des Hodensacks führen kann.

Eine Studie an Menschen fand eine 59prozentige Verringerung der Spermienzahl bei Männern, die Handys über vier oder mehr Stunden am Tag verwendeten, im Vergleich zu denen, die überhaupt kein Handy verwendeten. In der Studie wurden auch gesundheitsschädliche Auswirkungen auf die Lebensfähigkeit, Motilität und Morphologie der Spermien festgestellt. (Agarwal et al., 2008)

Eine ungarische Studie entdeckte eine Verschlechterung der Motilität menschlicher Spermien in Zusammenhang mit selbst berichteter Exposition gegenüber Handystrahlung (Fejes et al., 2005). Eine australische Studie entdeckte genotoxische Auswirkungen in den Spermien von Mäusen (Aitken et al., 2005), während in einer anderen Studie dieser Gruppe über ähnliche Auswirkungen auf menschliche Spermien berichtet wurde.

In einer kürzlich veröffentlichten Studie, bei der Mäuse sechs Monate lang der Strahlung einer Mobilfunkbasisstation ausgesetzt wurden, wird berichtet: "Die Exposition männlicher Mäuse gegenüber Funkfrequenzstrahlung von GSM-Mobilfunkbasisstationen in einem Geschäftskomplex und in Wohngebieten verursachte bei jeweils 39,78 Prozent und 46,03 Prozent Anomalien bei den Spermienköpfen, im Vergleich zu 2,13 Prozent bei der Kontrollgruppe. Eine statistische Analyse der Daten zu Anomalien bei den Spermienköpfen zeigte, dass es bei den Versuchstieren eine bedeutsame ( $p < 0,05$ ) Differenz beim Auftreten von Anomalien in den Spermienköpfen gab. Die am häufigsten auftretenden Anomalien, die beobachtet wurden, waren Spermienköpfe mit einem Knopfhaken, sowie Spermienköpfe in Nadelform und in Bananenform. Man stellte auch fest, dass das Auftreten von Anomalien in den Spermienköpfen von der Dosis abhängig war." (Otitoloju et al., 2010)

Die Forscher berichteten von Spermienanomalien bei 489 mV/m (Arbeitsumfeld) und 646 mV/m (Wohngebiet) im Vergleich zu Expositionsgrenzwerten von jeweils 41.000 mV/m und 58.000 mV/m (ICNIRP, 1998).

Schlussfolgernd warnt eine Studie über menschliche Spermien: "Elektromagnetische Funkfrequenzfelder mit einer Leistungsflussdichte und einem Frequenzbereich von Handys steigern die Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies in den Mitochondrien durch menschliche Spermienzellen, wodurch die Motilität und Vitalität dieser Zellen verringert wird und wobei die Adduktbildung in DNA-Basen angeregt wird und damit letztendlich die Aufsplitterung der DNA. Diese Forschungsergebnisse führen zu eindeutigen Schlussfolgerungen hinsichtlich starker Handynutzung durch Männer im fortpflanzungsfähigen Alter, mit möglichen Auswirkungen sowohl auf ihre Fruchtbarkeit als auch auf die Gesundheit und das Wohlergehen ihrer Nachkommen." (De Iuliis et al., 2009)

## Leukämie

Zwei Studien haben herausgefunden, dass Handynutzung über einen langen Zeitraum das Leukämie-Risiko erhöht. Unter Herausrechnung anderer Leukämierisikofaktoren wie Benzollösungsmitteln, der Exposition gegenüber Pestiziden bei der Arbeit oder zu Hause, sowie das Wohnen oder Arbeiten in der Nähe von Stromversorgungsleitungen, hat eine Studie in Thailand ein dreifaches Leukämie-Risiko aufgrund der GSM-Handy-Verwendung (Quotenverhältnis = 3,0, 95% und Konfidenzintervall: 1,4 –

6,8) herausgefunden und ein mehr als vierfaches Risiko für jede Art der Lymphdrüsen-Leukämie (Quotenverhältnis = 4,5, 95% und Konfidenzintervall: 1,3 – 15) (Kaufmann et al., 2009). Eine britische Studie fand Leukämie-Risiken an der Schwelle zur Bedeutsamkeit infolge einer über 15jährige Handynutzung für akute myeloische Leukämie (AML), Quotenverhältnis = 2,08, 95% und Konfidenzintervall = 0,98 – 4,39 und bei allen Leukämiearten ein Quotenverhältnis = 1,87, 95% und Konfidenzintervall = 0,96 – 3,62 (Cooke et al., 2010).

## ZWEI SAR-ZULASSUNGSVERFAHREN FÜR HANDYS

### Das SAM-basierte Handy-Zulassungsverfahren

Das "Specific Anthropomorphic Mannequin" abgekürzt SAM [= spezifische menschenformähnliche Modellpuppe] ist das Plastikmodell eines Kopfes (Beard und Kainz, 2004), Das "Specific Anthropomorphic Mannequin" abgekürzt SAM [= spezifische menschenformähnliche Modellpuppe] ist das Plastikmodell eines Kopfes (Beard und Kainz, 2004), basierend auf dem 90er-Perzentil (d. h. einem Zehntel. Anm. DF) der Rekruten des US-Militärs im Jahr 1989. (Gorden et al., 1989) Während der Expositionsgrenzwert Körpergrößen "vom kleinen Kleinkind bis zum großen Erwachsenen" umfasst (ANSI, 1982, Seite 14), wurde nur ein erwachsener Mann mit einem Körpergewicht von ungefähr 100 Kg und 1,88 Meter Größe verwendet, um die Einhaltung der Grenzwerte für Handys zu testen.

Beim SAM-basierte Handyzulassungsverfahren wird folgende Ausstattung verwendet:

- (1) das Plastikmodell eines Kopfes mit einer Öffnung an der Kopfoberseite (Fig. 1);
- (2) eine Flüssigkeit, deren elektrische Permittivität und Leitfähigkeit den durchschnittlichen elektrischen Parametern der 40 Gewebearten eines Kopfes entsprechen;
- (3) ein Roboterarm (Fig. 2) an dem eine kleine Sonde zur Messung elektrischer Felder befestigt ist (die tatsächliche dreidimensionale Auflösung wird durch die Maße der Sonde begrenzt).



FIGURE 1: SAM-Modellpuppe Quelle: Speag Phantom Produkt-Flyer. "CTIA" steht für "Cellular Telecommunications Industry Association".

Zur Handyzulassung wird eine Flüssigkeit in den Kopf gegossen, welche die durchschnittliche Permittivität und Leitfähigkeit der Kopfgewebearten aufweist. Ein Handy wird an beiden Seiten des Plastikkopfes befestigt, wobei ein sich verjüngendes, flaches Distanzstück anstelle eines Ohres verwendet wird, und der Roboterarm misst das elektrische Feld innerhalb des Hohlraums des Kopfmodells mit einer Auflösung, die etwas über  $1 \text{ cm}^3$  liegt. Die SAR-Werte werden aufgrund der Messungen der elektrischen Felder sowie des Standorts bei jeder Messung gemäß des 3-D-Modells und der Eigenschaften der Flüssigkeit errechnet. Der daraus resultierende SAR-Wert hat eine Toleranz von  $\pm 30\%$  (IEEE 2003, Seite 55). Daher kann ein Handy, das mit einem Expositionsgrenzwert von  $1,6 \text{ W/Kg}$  zugelassen wurde, tatsächlich einen Wert von bis zu  $2,08 \text{ W/Kg}$  aufweisen.

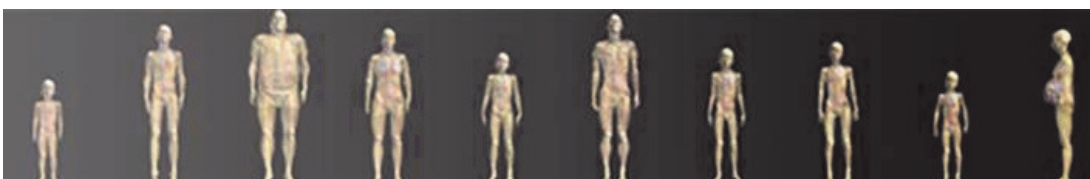
### Das Zulassungsverfahren auf Grundlage der Computersimulation

Bezüglich des Zulassungsverfahrens auf Grundlage der Computersimulation steht in Anlage C der Publikation des FCC: "Gegenwärtig ist die Finite-Differenzen-Methode (FDTD) die am häufigsten akzeptierte Computer-Methode für SAR-Modelle. Diese Methode kann sehr gut angepasst werden an die Gewebemodelle, die gewöhnlich aus Magnetresonanztomographien und Computertomographien gewonnen werden. Diese werden gegenwärtig bereits in vielen Forschungseinrichtungen verwendet. Finite-Differenzen-Methode (FDTD) bietet eine große Flexibilität in der Nachbildung ungleichmäßiger Strukturen anatomischer Gewebe und Organe (Means und Chan, 2001, Seite 13)."



Figur 2: Roboterarm mit Sonde zur Messung des elektrischen Feldes Quelle: Speag DASY 52 Info-Blatt

Die Lebensmittelüberwachungs- und Arzneimittelzulassungsbehörde der USA, die "Food and Drug Administration", kurz FDA, welche in den USA die oberste Verantwortung für Handysicherheit hat, verfügt über eine "virtuelle Familie", basierend auf Magnetresonanztomographien, welche unterschiedliche Hirngewebeeigenschaften aufzeigen, die in Computersimulationen verwendet werden. Zu dieser "Familie" gehören gegenwärtig ein fünfjähriges Mädchen, ein sechsjähriger Junge, ein achtjähriges Mädchen, ein 11jähriges Mädchen, ein 14jähriger Junge, eine 26jährige Frau, ein 35jähriger Mann, ein dickleibiger erwachsener Mann und 3 schwangere Frauen mit Föten, jeweils im 3., im 7. und 9. Monat ihrer Schwangerschaft. Weitere "Familien"-Mitglieder befinden sich in der Entwicklung (Christ et al., 2010b). "Die virtuelle Familie wird bereits von über 200 Forschungsgruppen auf der ganzen Welt verwendet." (<http://www.itis.ethz.ch/research/virtual-population/virtual-population-project/>, aufgerufen am 28. Dezember 2010). **Fig. 3 ist eine Illustration der Mitglieder der "virtuellen Familie".**



FIGUR 3: Die virtuelle Familie <http://www.itis.ethz.ch/services/population-and-animal-models/population-models/> (aufgerufen am 10. Dezember 2010).

## Ergebnisse (Handzulassungsverfahren mit SAM-Modell im Vergleich zu einem Verfahren auf Grundlage einer FDTD-Computersimulation)

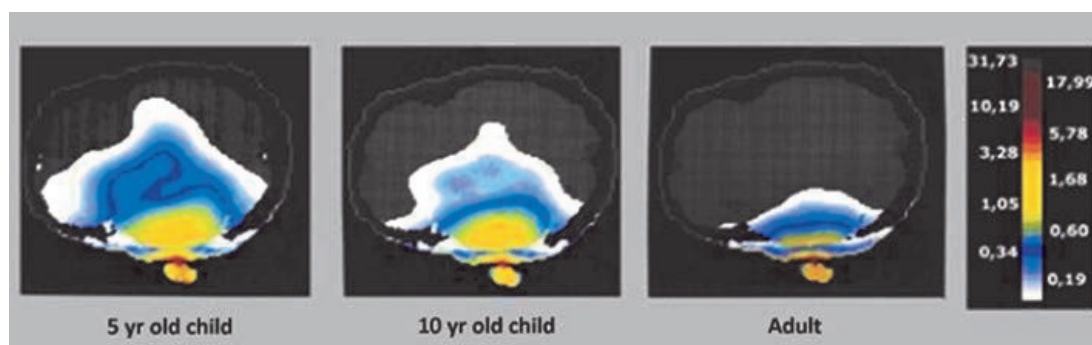
Da sämtliche Köpfe, die kleiner sind als das SAM-Kopfmodell, einen höheren SAR-Wert aufnehmen, nehmen die Kinder den höchsten SAR-Wert auf im Vergleich zu Erwachsenen, deren Kopf für das SAM-Verfahren nachgebildet wurde. Gandhi et al. (1996) berichtete, dass bei 5- und 10jährigen Kindern, wenn man nur den Unterschied der Kopfgröße im Vergleich zu Erwachsenen berücksichtigt, der SAR-Wert 153% über dem von Erwachsenen lag. Wiart et al. (2008) verwendete Magnetresonanztomographien von Kindern im Alter zwischen 5 und 8 Jahren und fand heraus, dass bei diesen Kindern der SAR-Wert zweimal so hoch lag wie bei Erwachsenen, und Kuster et al. (2009) berichtete, dass der SAR-Spitzenwert im Gewebe des zentralen Nervensystems "bedeutsam höher liegt ( $\sim 2x$ ), weil die Funkfrequenzquelle näher liegt und die Haut- und Knochenschichten dünner sind." Die Gruppe von de Salles et al. 2006 fanden unter Verwendung von Tomographien des Kopfes eines 10 Jahre alten Jungen mit den Bestimmungsfaktoren bezüglich Gewebe und elektrischer Leitfähigkeit bei Kindern, dass Unterschiede in der Kopfgröße und andere Bestimmungsfaktoren den SAR-Wert um 60% erhöhten im Vergleich zu Erwachsenen. Peyman et al. (2001) fanden, dass die relative Permittivität des Gehirns eines Erwachsenen bei ungefähr 40 lag, während sie beim Gehirn eines kleinen Kindes zwischen 60 und 80 lag, was dazu führt, dass der SAR-Wert bei einem Kind zwischen 50 – 100% höher liegt als bei einem Erwachsenen, ungeachtet der Kopfgröße. Han et al. (2010) lieferten zusätzliche Untersuchungen zur Unterbewertung von räumlichen SAR-Spitzenwerten im SAM-basierten Verfahren.

Kinder sind nicht nur einem höheren SAR-Wert ausgesetzt, sondern das Volumen des exponierten und sich noch entwickelnden Kindergehirns ist im Verhältnis viel größer als bei Erwachsenen. Fig. 4 zeigt, dass die Tiefe der Absorption von Handystrahlung im Gehirn bei einem 5jährigen am höchsten liegt, wo sie weit über die Gehirnmitte hinaus eindringt. Bei 10jährigen Kindern dringt die Strahlung weniger weit ein, aber sie dringt immer noch über die Gehirnmitte hinaus ein und bei Erwachsenen ist die Durchdringung viel geringer und endet deutlich vor der Gehirnmitte (Ghandi et al., 1996).

Obwohl selbstverständlich keine Modelle für Krabbelkinder oder Kleinkinder entwickelt wurden, die heute unter Umständen Handys verwenden oder mit ihnen spielen, wäre die Absorption bei ihnen sogar noch größer als bei einem 5jährigen, da ihre Schädel noch dünner und ihre Gehirne eine noch höhere Leitfähigkeit aufwiesen und weit weniger entwickelt sind.

Eine Studie aus jüngster Zeit (Christ et al., 2010a) zeigt Einzelheiten zur Altersabhängigkeit von elektrischen Eigenschaften des Gehirns auf und kommt zu folgender Schlussfolgerung:

- "Die Exposition von Bereichen innerhalb der Gehirne kleiner Kinder (z. B. Hippocampus, Hypothalamus, usw.) kann um mehr als 2 dB – 5 dB [1,6 – 3,2 mal] höher sein als bei Erwachsenen."
- "Die Exposition des Knochenmarks von Kindern kann das von Erwachsenen ungefähr um den Faktor 10 übertreffen. Dies liegt an der starken Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit dieses Gewebes bei zunehmendem Alter."
- "Die Exposition der Augen bei Kindern ist höher als bei Erwachsenen."



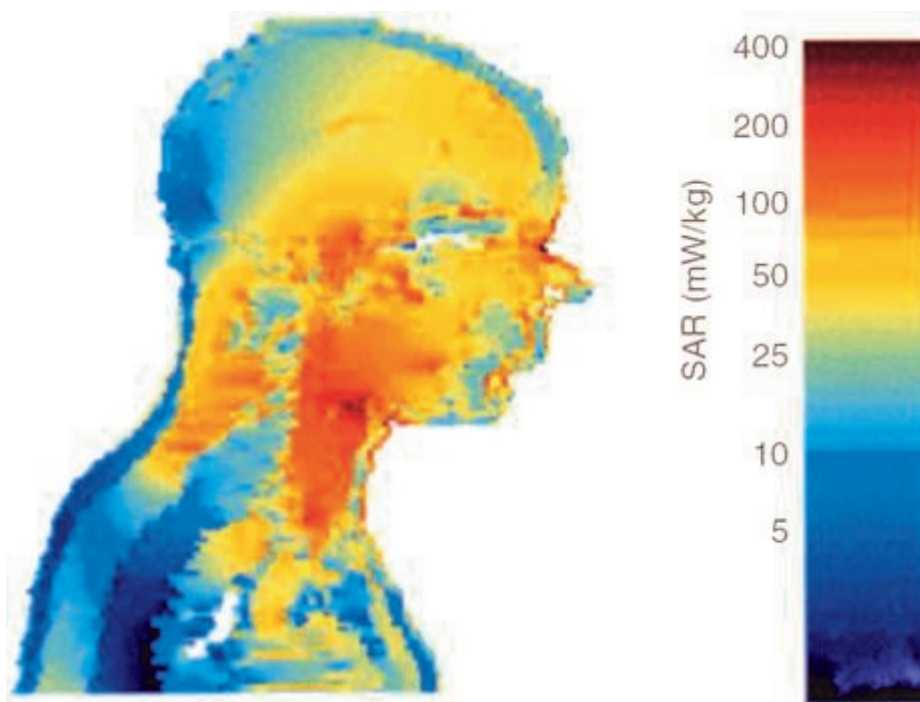
FIGUR 4: Tiefe der Strahlungsabsorption bei einem 5jährigen Kind, einem 10jährigeKind und einem Erwachsenen von einem GSM-Handy mit einer Frequenz von 900 MHz. Die Farbskala rechts zeigt den SAR-Wert in Watt pro Kilogramm (Gandhi et al., 1996).

- "Wegen Unterschieden ihrer Lage bezüglich des Ohres kann es bei Hirnregionen, die nahe an der Oberfläche liegen, große Unterschiede bei der Exposition zwischen Erwachsenen und Kindern geben. Das Kleinhirn kann einen durchschnittlichen räumlichen SAR-Spitzenwert von über 4 dB [2,5 mal] höher als die lokale Exposition der Hirnrinde von Erwachsenen haben."

Auf eine erhöhte Exposition der Augen und des Kleinhirns wurde bereits 1998 in einer Studie zu Fernfeldexpositionen von Kopf und Hals gegenüber Resonanzfrequenzen hingewiesen (Tinniswood et al., 1998). Die Autoren merkten an: "Die höchste Strahlungsaufnahme findet am Hals statt, da die Ströme, die im Kopf entstehen, durch das eingeeengte Volumen des Halses in den Körper fließen müssen, wobei diese konzentriert werden (d. h. die Stromdichte wird erhöht) und sich dadurch der SAR-Wert erhöht." Ein Schaubild (siehe Figur 5 unten) in diesem Artikel weist darauf hin, dass in der Schilddrüse der SAR-Wert deutlich erhöht ist.

Da jedoch nur ein geringer Anteil der US-Forschungsgelder für Handystudien zur Verfügung gestellt werden, haben keine Studien die Exposition der Schilddrüse während der Handyverwendung untersucht.

Eine andere Studie hat die verhältnismäßig höhere Strahlungsabsorption bei Kindern und bei Erwachsenen, die kleiner als das SAM-Modell sind, untersucht und kam zu der Schlussfolgerung: "Die Ergebnisse zeigen auf, dass die empfohlenen ICNIRP-Grenzwerte überarbeitet werden müssen" (Bakker et al., 2010) und es wurde vorgeschlagen, die ICNIRP-Richtlinien "genauer anzupassen".



FIGUR 5: Die SAR-Verteilung im Kopf und Hals bei 207 MHz unter isolierten Bedingungen. Fernfeldleistungsdichte = 1 mW/cm<sup>2</sup> (angepasst nach Figure 6; Tinniswood et al., 1998).

Das Distanzstück, welches bei der SAM-Modellfigur verwendet wird, um das Ohr nachzubilden, führt auch zu einer Unterschätzung des SAR-Werts. Die Strahlung nimmt im Quadrat der zunehmenden Entfernung von der Antenne im Fernfeld ab und im Nahfeld nimmt die Strahlung hoch drei genommen mit zunehmender Entfernung von der Antenne ab. Das bedeutet, dass selbst geringfügige Erhöhungen über die Entfernung starke Auswirkungen haben können. Gandhi und Kang (2002) fanden heraus, dass die Verwendung eines Plastikohrmodells (oder "Ohrmuschel") mit einem 10-Millimeter-breiten Distanzstück zu künstlich niedrigeren SAR-Werten führte, welche bis zu zweimal niedriger waren als bei realistischen anatomischen Modellen, bei denen Handys direkt an das Ohr gehalten werden. In zwei Studien führt die Verwendung von Plastikdistanzstücken zu einer Unterbewertung des SAR-Werts von bis zu 15% für jeden zusätzlichen Millimeter Dicke solcher Distanzstücke (Gandhi und Kang, 2002, 2004).

"Ein Handy, das den ICNIRP-Grenzwert von 2,0 W/Kg SAR für 10 Gramm Körpergewebe einhält, kann zu einer 2,5- bis 3fachen Erhöhung oberhalb des FCC-Grenzwerts von 1,6 W/Kg für 1 Gramm Körpergewebe führen (d. h. 4 – 5 W/kg in einem Würfel von 1 Gramm Körpergewebe)". (Ghandi und Kang, 2002)

Wenn ein Handy mit seiner Rückseite (wo sich gewöhnlich die Sendeantenne befindet) zum Körper in eine Hemdtasche gesteckt wurde, während es mit einer Freisprechvorrichtung benützt wurde, fand eine Studie von 2002 heraus, dass sich der SAR-Wert um das bis zu Siebenfache erhöhte. (Kang und Gandhi, 2002)

Dies deutet darauf hin, dass die Oberfläche des Herzmuskels, die der Haut am nächsten liegt, eine große Menge an Handystrahlung aufnehmen könnte, wenn sich ein Handy in einer Hemdtasche befindet.

Tabelle 1, angepasst auf der Grundlage von Tabelle 2 von Han et al. (2010), fasst die unterschiedlichen Forschungsergebnisse zusammen. Auf der Grundlage ihrer Richtlinien von 1998 verlässt sich die ICNIRP auf ein größeres Volumen von 10 Gramm und einen höheren SAR-Wert von 2 W/Kg zur Begrenzung der Exposition des Gehirns, im Vergleich zum Grenzwert der FCC auf der Grundlage von einem Gramm.

## DISKUSSION

Das FDTD-Computersimulationsverfahren auf der Grundlage von Magnetresonanztomographien und Computertomographien verwendet anatomisch korrekte Kopfgrößen und ermöglicht die Einbeziehung von 80 unterschiedlichen Gewebearten mit akkurater, räumlicher Positionierung, wobei die elektrischen Eigenschaften jeder Gewebeart verwendet werden, um den SAR-Wert des Handys bis zu einer Auflösung von 1 mm<sup>3</sup> oder darunter zu berechnen.

Im Gegensatz dazu wird beim SAM-basierten Verfahren ein großer Männerkopf verwendet und davon ausgegangen, dass das Innere des menschlichen Kopfes gleichmäßig strukturiert ist, anhand einer Flüssigkeit mit den durchschnittlichen elektrischen Eigenschaften des Kopfes. Ein echter Kopf hat natürlich ein Ohr und nicht ein 10-Millimeter-breites Distanzstück aus Plastik. Aus diesem Grund enthalten die Handy - Verbraucherhandbücher mit den Informationen über die Funktionen u.a. gewöhnlich eine Seite mit Sicherheitsinformationen, wo steht, dass das Handy nicht näher als 10, 15 oder sogar 25 Millimeter vom Körper entfernt gehalten werden darf. Da das bei den Tests verwendete 10-Millimeter-dicke Plastikdistanzstück den berechneten SAR-Wert für jedes Handy reduziert, gibt es in diesen Handbüchern keine Aussagen darüber, dass man mit dem Handy Abstand vom Kopf halten solle.

Das bestehende SAR-Handy-Zulassungsverfahren bewertet die Exposition von jedem Kopf, der kleiner als das SAM-Modell ist, systematisch zu niedrig und geht auch davon aus, dass der Kopf in seiner Struktur homogen ist. Tatsächlich gibt es bei den Geweben und Organen im Kopf wesentliche Unterschiede hinsichtlich Dichte und der Fähigkeit, Strahlung aufzunehmen, und bei diesen Unterschieden gibt es Veränderungen, die gegenläufig zum Alter von Kindern sind. Nur 3% der US-Bevölkerung hat die Kopfgröße des SAM-Modells und niemand hat eine einheitliche, durchgängige Gehirnstruktur mit bezüglich elektrischer Durchlässigkeit gleichförmigem Gewebe. Die Anwendung des FDTD-Ansatzes würde zu Normen führen, welche die anatomischen Eigenschaften des Gehirns widerspiegeln und die systematische Unterbewertung bei Zulassungsverfahren auf SAM-Grundlage korrigieren

**Tabelle 1:** Zusammenfassung der Ergebnisse, die bestätigen, dass Kinder mehr ausgestrahlte elektromagnetische Energie von Handys aufnehmen, was zu einem höheren SAR-Wert im Vergleich zu Erwachsenen führt (angepasst von Tabelle 3, Han et al. 2010).

Autor, Jahr	Hervorzuhebende Ergebnisse
Gandhi et al. (1996) Wiert et al. (2008) Kuster (2009)	Tiefere Eindringung absorbiertes Energie bei Modellen von zehn- und fünfjährigen Kindern; SAR-Spitzenwert für 1g bei Kindern um bis zu 53% höher als bei Erwachsenen. SAR-Wert für 1g Hirngewebe von Kindern ist ungefähr doppelt so hoch wie bei Erwachsenen. Der räumliche SAR-Spitzenwert im zentralen Nervensystem von Kindern ist "bedeutend höher (~ 2x), da die Funkfrequenzquelle näher ist und die Haut- und Knochenschichten dünner sind." „Bei der Exposition des Knochenmarks gibt es starke Unterschiede nach Alter und sie ist bei Kindern bedeutend höher (~ 10x).“
DeSalles et al. (2006)	Der SAR-Wert für 1g ist bei einem 10jährigen Jungen ungefähr 60% höher bei Erwachsenen.
DeSalles et al. (2006) Peyman et al. (2001) Christ et al. (2010a)	Die SAR ist bei Kindern um 50 – 100% höher als die SAR bei Erwachsenen. Der Hypocampus und der Hypothalamus nehmen bei Kindern einen 1,6 – 3,1 höheren SAR-Wert auf, als bei Erwachsenen; das Knochenmark von Kindern nimmt einen zehnmal höheren SAR-Wert auf als bei Erwachsenen; Kindern nehmen einen erhöhten SAR-Wert in den Augen auf als Erwachsene; das Kleinhirn von Kindern nimmt einen > 2,5 mal höheren SAR-Wert auf, als bei Erwachsenen.
Tinnisword et al. (2008)	Der SAR-Wert für die Fernfeldexposition des gesamten Körpers ist am höchsten im Hals, insbesondere wo sich die Schilddrüse befindet.
Kang und Gandhi (2002) Gandhi und Kang (2002) Wang und Fujiwara (2003) Martinez-Burdalo et al. (2004)	Die empfohlenen Referenzgrenzwerte des ICNIRP sind zu überarbeiten. Die SAR ist bis zu 7mal höher, wenn sich die Rückseite des Handys in einer Hemdtasche nahe an der Hautoberfläche befindet. Das 10- mm-breite Distanzstück des SAM-Modells führt zu einer künstlichen Verringerung des SAR-Werts. Bei kleineren Köpfen, die in der Regel bei Frauen und Kindern anzutreffen sind, kommt es zu einem tieferen Eindringen der aufgenommenen Energie; der SAR-Spitzenwert für 1g ist bei kleinen Köpfen bis zu 56% höher, als bei größeren Köpfen.
Gandhi und Kang (2002)	Das Plastik-Distanzstück, das beim SAM-Modell als Ohr (oder Ohrmuschel) verwendet wird, verringert den SAR-Wert um 15% pro Millimeter. Der SAR-Spitzenwert des ICNIRP von 2 W/kg für 10 g führt zu einer 2,3 – 3mal höheren SAR als der SAR-Spitzenwert der FCC von 1,6 W/kg für 1g.
Wang und Fujiwara (2003)	Verglichen mit dem lokalen SAR-Spitzenwert im Kopf eines Erwachsenen, fanden wir "eine beträchtliche Erhöhung in Köpfen von Kindern."
Martinez-Burdalo et al. (2004)	Je kleiner die Kopfgröße, desto höher ist der Prozentsatz der im Gehirn aufgenommenen Energie; daher kann eine höhere SAR in den Gehirnen von Kindern erwartet werden.

**Tabelle 2:** Vergleich der Handyzulassungsverfahren

Eigenschaften	SAM-Verfahren	FDTD-Verfahren	Bemerkungen
Exposition von Kindern	Nein	Ja	Männlich und weiblich,
Exposition Schwangerer	Nein	Ja	Unterschiedliche Altersgruppen,
Exposition von Frauen	Nein	Ja	1, 3 und 9 Monate
Exposition kleiner Männer	Nein	Ja	
Exposition großer Männer	Ja	Ja	
Elektr. Gewebeeigenschaften	Durchschnitt des Gewebes	Spezifisch je Gewebe	
3-D-Auflösung	1 cm <sup>3</sup>	1mm <sup>3</sup>	
Verhältnismäßige Kosten	hoch	niedrig	
Med. Implantate im Modell	Nein	Ja	
Exposition der Hoden	Nein	Möglich	
Exposition der Augen	Nein	Möglich	
Exposition der Schilddrüsen	Nein	Möglich	

würden. In Tabelle 2 werden Eigenschaften des SAR-Zulassungsverfahrens für Handys unter Verwendung des SAM-Modells und des SAR-Zulassungsverfahrens für Handys unter Verwendung einer FDTD-Computersimulation verglichen.

Wegen all der Gründe, die in dieser Untersuchung dargestellt werden, schützt das gegenwärtige SAR-Zulassungsverfahren für Handys 97 % der Bevölkerung nicht ausreichend, das heißt diejenigen mit Köpfen, die kleiner sind als der des SAM-Modells. Weil Kinder mehr Handystrahlung aufnehmen als Erwachsene, ist dieser Mangel an ausreichendem Schutz umso besorgniserregender, da diese in zunehmendem Maße Handys benutzen.

Neben diesen schwerwiegenden Problemen erfüllen heutige Handys nicht den gegenwärtig bescheinigten SAR-Wert, wenn sie direkt an den Kopf gehalten werden oder in einer Hemd- oder Hosentasche getragen werden. Gemäß Sicherheitshinweisen der Hersteller können Handys bei ihrem üblichen Gebrauch die Expositionsrichtlinien der FCC überschreiten. Hier gibt es einige Beispiele der Warnungen von Herstellern:

(1) BlackBerry Torch: "Zur Einhaltung der Expositionsrichtlinien für Funkfrequenzstrahlung von FCC, IC, MIC und der EU, ist das BlackBerry-Gerät, wenn man es am Körper trägt, ... mit einem Abstand von mindestens 25 Millimeter vom Körper entfernt zu halten ... " "Zur Verringerung der Exposition gegenüber Funkfrequenzstrahlung ... ist das BlackBerry-Gerät mindestens 25 Millimeter vom Körper entfernt zu halten (einschließlich des Unterleibs schwangerer Frauen und des unteren Unterleibs von Teenagern ... ." Das heißt implizit wird auf die Wichtigkeit hingewiesen, das Gerät von den Hoden von Jungen im Teenager-Alter fernzuhalten (BlackBerry, 2010, Seite 23).

(2) Nokia 1100: "Dieses Produkt erfüllt die Expositionsrichtlinien für Funkfrequenzstrahlung, wenn es mindestens 1,5 cm vom Körper entfernt gehalten wird ... und man sollte das Produkt mindestens 1,5 cm vom Körper entfernt halten." (Nokia, 2003, Seite 63)

(3) Motorola V195 GSM: "Halten Sie das mobile Gerät und seine Antenne mindestens 2,5 cm von Ihrem Körper entfernt." (Motorola, 2008, Seite 70)

Die Richtlinie des FCC besagt: "Zur Bewertung der Einhaltung von SAR-Richtlinien an festgelegten Stellen sind Mobilgeräte in bei der *Nutzung üblichen Stellungen und Umständen* überprüft und bewertet worden (Cleveland et al., 1997, Seite 42)." [Hervorhebung hinzugefügt] In Wirklichkeit werden Handys nur mit einem Distanzstück neben dem Ohr oder der Hüfte getestet und werden nicht in den Positionen überprüft, in denen sie von den Menschen gewöhnlich verwendet werden, d. h. in Hosen- oder Hemdtaschen. Darüber hinaus simulieren keine Tests die Verwendung von den 97% der Bevölkerung, deren Köpfe kleiner sind als die des SAM-Modells.

Die fünffache Verringerung des SAR-Expositionsgrenzwerts für die allgemeine Bevölkerung nach den IEEE-Normen, welche auch von der FCC übernommen wurde, sollte den "empfindlichsten Teil der Bevölkerung" schützen: "Kleinkinder, alte Menschen, Kranke und Behinderte." Solche Senkungen bestehen jedoch nicht, wenn man die spezifische Absorption (SA) betrachtet.

Letztlich ist die Auflösung von Hirngewebe und Organen bei der Finite-Differenzen-Methode (FDTD) dreimal so hoch wie beim SAM-Modell (die Maße der Sonde zur Messung des elektrischen Feldes können nicht viel stärker verkleinert werden, ohne dass man dabei zu viel Empfindlichkeit einbüßen würde). Es besteht die Notwendigkeit, die "empfindlichsten" Nutzer zu schützen, weil aufgrund der Krümmung von Gewebeschichten, aber auch wegen unterschiedlicher Eigenschaften der elektrischen Leitfähigkeit von daneben liegendem Gewebe und ihrer Geometrie, "Hochenergiepunkte" (kleine Bereiche des Gehirns, die eine große Menge an Energie aufnehmen) entstehen können, infolge räumlicher Konzentration der Energie.



## SCHLUSSFOLGERUNGEN

- (1) Da das Handy-Zulassungsverfahren auf der Grundlage von SAM-Modellen für 97% der Bevölkerung den SAR-Wert deutlich unterbewertet, insbesondere für Kinder, sollte das Zulassungsverfahren auf SAM-Grundlage unverzüglich eingestellt werden.
- (2) Ein anderes Verfahren zur Handyzulassung auf der Grundlage einer FDTD-Computersimulation ist unmittelbar verfügbar und bietet eine dreimal so hohe Auflösung als dies beim Verfahren mit dem SAM-Kopfmodell möglich ist.
- (3) Zur "virtuellen Familie" auf anatomischer Grundlage gehören empfindliche Gruppen, wie Kleinkinder, schwangere Frauen und Föten.
- (4) Sicherheitsempfehlungen in Handyhandbüchern verstoßen gegen die Einhaltung der FCC-Richtlinien, weil sie die gebräuchliche Handynutzung in Hemd- und Hosentaschen oder das Halten von Handys direkt an den Kopf nicht berücksichtigen.
- (5) Das Handyzulassungsverfahren auf SAM-Grundlage kann zur Exposition empfindlicher Gewebe wie Hoden oder Augen keine Aussage machen, während die Methode auf Grundlage der Finiten-Differenzen-Methode (FDTD) Aussagen zur Exposition solcher empfindlicher Gewebe machen kann.
- (6) Weil Milliarden Kleinkinder und Erwachsene, deren Köpfe kleiner sind als die des SAM-Modells, jetzt ausgiebigen Gebrauch von Handys machen und weil sie im Verhältnis mehr Handystrahlung aufnehmen, ist es von wesentlicher und dringlicher Wichtigkeit, dass Regierungen auf der ganzen Welt ihre Ansätze zur Festlegung von Grenzwerten für Handystrahlung anpassen, um einen ausreichenden Schutz von Kindern zu gewährleisten.
- (7) Bei Handys, deren SAR-Werte vor Juni 2001 bescheinigt wurden, musste das Verfahren nicht in verschiedenen Prüfstellen wiederholt werden (siehe "Dezember 1997" s. weiter oben).

Wir haben aufgezeigt, dass Kinder und kleine Erwachsene deutlich mehr Handystrahlung aufnehmen als dies gemäß SAM-Bewertungen der Fall ist. Deshalb schützen gegenwärtige Handynormen für alle mehr als 5 Milliarden Handys auf der Welt nicht junge Personen oder die 97% der Bevölkerung, deren Köpfe kleiner sind als der des SAM-Modells. Bis die SAR-Normen überarbeitet sind, empfehlen Israel (Azoulay und Rinat 2008), Finnland (YLE.fi 2010), Frankreich (Lean, 2010), Indien (India eNews, 2008) und Großbritannien (BBC, 2000) eine begrenzte Handynutzung von Kindern, die Verwendung von verkabelten Kopfhörern, Freisprechvorrichtungen, SMS und dass man das Handy vom Kopf und vom Körper entfernt hält, um bei gegenwärtigen Handys die Exposition deutlich zu verringern.

Regierungen auf der ganzen Welt sollten von der Industrie dringend verlangen, dass sie nur Handys verkaufen, die ausschließlich mit Freisprechvorrichtungen funktionieren (ohne eigene Lautsprecher und Mikrophone). Dann müssten die Nutzer Freisprechvorrichtungen mit Kabeln oder andere Geräte als Kopfhörer verwenden, mit dem Ergebnis, dass Handys vom Kopf fern gehalten würden, während man mit ihnen telefoniert.

In die Erforschung von langfristigen Auswirkungen von Handystrahlung sollte in großem Umfang investiert werden. Dies ist eine Angelegenheit, die von der Öffentlichkeit genau beaufsichtigt werden sollte. Modelle auf anatomischer Grundlage sollten zur Überarbeitung der Sicherheitsnormen für diese allgegenwärtigen modernen Geräte verwendet werden. Die Festlegung von Grenzwerten sollte weder nicht-staatlichen noch nicht überprüfbaren Institutionen überlassen werden, wie der ICNIRP, die von der Industrie stark finanziert wurde, sondern sie sollte durch staatlichen Behörden erfolgen, die für die Öffentlichkeit überprüfbar sind oder von unabhängigen Fachleuten, die den Regierungen Rede und Antwort stehen müssen.

### Interessenserklärung:

Diese Arbeit wurde unterstützt durch Zuschüsse des Environmental Health Trust, des Flow Fund, des Waletzky Fund und des Carolyn Fine Friedman Fund. Die Autoren erklären, dass keine Interessenkonflikte bestehen. Einzig die Autoren selbst sind verantwortlich für den Inhalt und die Verfassung dieses Artikels.

## REFERENZEN:

- Adlkofer, F. (2004). Final Report, Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards From Low Frequency Electromagnetic Field Exposure Using Sensitive in vitro Methods. EU Contract number QLK4-CT-1999-01574
- Agarwal, A., Deepinder, F., Sharma, R. K., et al. (2008). Effect of cell phone usage on semen analysis in men attending infertility clinic: an observational study. *Fertil Steril.* 89(1):124 – 128.
- Aitken, R. J., Bennetts, L., Sawyer, D., et al. (2005). Impact of radio frequency electromagnetic radiation on DNA integrity in the male germline. *Int. J. Androl.* 28(3):171 – 179.
- ANSI (1982). American National Standards Institute. Safety Levels with respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 300 kHz to 100 GHz Report ANSI C95-1982, (New York: The IEEE Inc).
- Azoulay, Y., Rinat, Z. (2008). Health Ministry calls for parents to limit kids' use of cell phones. *Haaretz.com* July 28, 2008. <http://www.haaretz.com/print-edition/news/health-ministry-calls-for-parents-to-limit-kids-use-of-cell-phones-1.250559> (accessed August 25, 2010)
- Baan, R., Grosse, Y., El Ghissassi, F., et al. (2011). Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *Lancet Oncol* 12 (4):328 – 329.
- Bakker, J. F., Paulides, M. M., Christ, A., et al. (2010). Assessment of induced SAR in children exposed to electromagnetic plane waves between 10 MHz and 5.6 GHz. *Phys. Med. Biol* 55(11):3115 – 3130.
- BBC News (2000). Child mobile phone warning. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/743112.stm> (May 10, 2000; accessed July 12, 2011)
- Beard, B. B., Kainz, W. (2004). Review and standardization of cell phone exposure calculations using the SAM phantom and anatomically correct head models. *BioMedical Engineering Online*, <http://www.biomedcentral.com/content/pdf/1475-925x-3-34.pdf> (accessed December 8, 2010)
- BioInitiative Working Group (2007). BioInitiative Report: A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF), Sage, C. and Carpenter, D.O., Eds.' [www.bioinitiative.org](http://www.bioinitiative.org)
- BlackBerry Torch (2010). Safety and Product Information Research in Motion Limited. Waterloo, ON, Canada. ([http://docs.blackberry.com/en/smartphone\\_users/deliverables/18620/BlackBerry\\_Torch\\_9800\\_Smartphone-Safety\\_and\\_Product\\_Information-T43156-696706-0806024453-001-US.pdf](http://docs.blackberry.com/en/smartphone_users/deliverables/18620/BlackBerry_Torch_9800_Smartphone-Safety_and_Product_Information-T43156-696706-0806024453-001-US.pdf), accessed December 10, 2010)
- Cardis, E., Sadetzki, S. (2011). Indications of possible brain-tumour risk in mobile-phone studies: should we be concerned? *Occup. Environ Med* 68(3):169 – 171 Epub January 24, 2011.
- Cardis, E., Sadetzki, S. (2011). Indications of possible brain-tumour risk in mobile-phone studies: should we be concerned? *Occup. Environ Med* 68(3):169 – 171 Epub January 24, 2011.
- Chan, K., Cleveland, Jr., R. F., Means, D. L. (1997). Federal Communications Commission, Office of Engineering & Technology. Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields Supplement C (Edition 97 – 01) to OET Bulletin 65 (Edition 97 – 01) Federal Communications Commission, Washington, DC, USA.
- Chou, C-K., D'Andrea, J., Peterson, R. (2006). IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. Section 1.1 Scope, Revision of IEEE Std C95.1-1991
- Christ, A., Gosselin, M-C., Christopoulou, M., et al. (2010a). Age-dependent tissue-specific exposure of cell phone users. *Phys. Med. Biol.* 55:1767 – 1783.
- Christ, A., Neufeld, E., Zefferer, M., et al. (2010b). The Virtual Population, Integration of Multiphysics into Anatomical High Resolution Models of the Human Body. Bioelectromagnetics Society Meeting: Seoul Korea. <http://www.itis.ethz.ch/services/human-and-animal-models/human-models/> (access December 28, 2010)
- Cleveland, R. F., Sylvar, D. M., Ulcek, J. L. (1997). Federal Communications Commission, Office of Engineering & Technology. Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields OET Bulletin 65, Edition 97 – 01. Federal Communications Commission, Washington, DC, USA.
- Cooke, R., Laing, S., Swerdlow, A. J. (2010). A case – control study of risk of leukaemia in relation to mobile phone use. *Brit. J. Cancer* 103:1729 – 1735.
- Czerninski, R., Zini, A., Sgan-Cohen, H. D. (2011). Risk of parotid malignant tumors in Israel (1970 – 2006). *Epidemiology* 22 (1):130 – 131.
- D'Andrea, J. A., Gandhi, O. P., Kesner, R. P. (1975). Behavioral effects of resonant electromagnetic power deposition in rats. *Biological Effects of Electromagnetic Waves* HEW Publication (FDA) 778011, I:257 – 273 (selected papers of the 1975 USNC/URSI Meeting, Boulder, CO).
- de Salles, A. A., Bulla, G., Rodriguez, C. E. (2006). Electromagnetic absorption in the head of adults and children due to mobile phone operation close to the head. *Electromagn. Biol. Med* 25(4):349 – 360.
- Even, D. (2009). Israeli study sees link between oral cancer, cell phones. *Haaretz.com* (<http://www.haaretz.com/print-edition/news/israeli-study-sees-link-between-oral-cancer-cell-phones-1.280073>; accessed July 3, 2011)
- Fejes, I., Zavaczki, Z., Szolosi, J., et al. (2005). Is there a relationship between cell phone use and semen quality? *Arch. Androl.* 51:385 – 393.

- Gandhi, O. P. (1974). Polarization and frequency effects on whole animal absorption of RF energy. *Proc.IEEE* 62(8):1171 – 1175.
- Gandhi, O. P., Lazzi, G., Furse, C. M. (1996). Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz. *IEEE Trans. Microwave Theor. Techniq.* 44(10):1884 – 1897.
- Gandhi, O. P., Kang, G. (2002). Some present problems and a proposed experimental phantom for SAR compliance testing of cellular telephones at 835 and 1900 MHz. *Phys. Med. Biol.* 47:1501 – 1508. Gandhi, O. P., Kang, H. (2004). Inaccuracies of a plastic pinna SAM for SAR testing of cellular telephones against IEEE and ICNIRP safety guidelines. *Microwave Theor. Techniq.* 52(8):2004 – 2012.
- Gordon, C. C., Churchill, T., Clauser, C. E., et al. (1989). Anthropometric Survey of U.S. Army Personnel: Methods and Summary Statistics Technical Report NATICK/TR-89/044. U.S. Army Natick Research, Development and Engineering Center, Natick, MA.
- Guler, G., Ozgur, E., Keles, H., et al. (2011). Apoptosis resulted from radiofrequency radiation exposure of pregnant rabbits and their infants. *Bull. Vet. Inst. Pulawy.* 55:127 – 134.
- Han, Y.-Y., Gandhi, O. P., de Salles, A., et al. (2010). comparative assessment of models of electromagnetic absorption of the head for children and adults indicates the need for policy changes. *Ramazzi Institute Eur. J. Oncol. Lib* 5:301 – 318.
- Hardell, L., Carlberg, M., Hansson Mild, K. (2006). Pooled analysis of two case – control studies on use of cellular and cordless telephones and the risk for malignant brain tumours diagnosed in 1997 – 2003. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 79 (8):630 – 639.
- Hardell, L., Carlberg, M., Söderqvist, F., Hansson Mild, K. (2008). Meta-analysis of long-term mobile phone use and the association with brain tumours. *Int. J. Oncol* 32(5):1097 – 1103.
- Hardell, L., Carlberg, M., Hansson Mild, K. (2011). Pooled analysis of case-control studies on malignant brain tumours and the use of mobile and cordless phones including living and deceased subjects. *Int. J. Oncol* 38(5):1465 – 1474.
- HPA (2009). Mobile Phone and Health Policy in the UK (last revised 17 February 2010). [http://www.hpa.org.uk/Topics/Radiation/UnderstandingRadiation/UnderstandingRadiationTopics/ElectromagneticFields/MobilePhones/info\\_ProtectionPolicy/](http://www.hpa.org.uk/Topics/Radiation/UnderstandingRadiation/UnderstandingRadiationTopics/ElectromagneticFields/MobilePhones/info_ProtectionPolicy/), accessed 29 September 2011).
- Huss, A., Egger, M., Hug, K., Huwiler-Müntener, K., et al. (2007). Source of funding and results of studies of health effects of mobile phone use: systemic review of experimental studies. *Environ. Health Perspect.* 115:104.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 74(4):494 – 522 <http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf>.
- IEEE (1991). IEEE C95.1-1991, IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields. 3 kHz to 100 GHz (Replaces ANSI C95.1-1982). The Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. New York, NY, USA.
- IEEE (2003). IEEE Std 1528, IEEE Recommended Practice for Determining Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques. The Institute of Electrical and Electronic Engineers Inc. New York, NY, USA.
- India e-News Teachers, students unhappy with mobile phone ban in schools 18 July 2008. <http://www.indiaenews.com/education/20080718/132841.htm> (accessed July 12, 2011).
- Kang, G., Gandhi, O. P. (2002). SARs for pocket-mounted mobile telephones at 835 and 1900 MHz. *Phys. Med. Biol.* 47:4301 – 4313.
- Kaufman, D. W., Anderson, T. E., Issaragrisil, S. (2009). Risk factors for leukemia in Thailand. *Ann Hematol* 88(11):1079 – 1088.
- Khurana, V. G., Teo, C., Kundi, M., et al. (2009). Cell phones and brain tumors: a review including the long-term epidemiologic data. *Surg. Neurol.* 72(3):205 – 214.
- Kuster, N. (2009). Past, current, and future research on the exposure of children. Foundation for Research on Information Technology in Society (IT<sup>2</sup>S), Foundation Internal Report 2009 ([http://www1.itis.ethz.ch/index/index\\_itis.html](http://www1.itis.ethz.ch/index/index_itis.html); accessed December 8, 2010).
- Lean, G. (2009). French government bans advertising of mobiles to children. *The Independent* January 11, 2009. <http://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/news/french-government-bans-advertising-of-mobiles-to-children-1299673.html> (accessed August 25, 2010).
- Lön, S., Ahlbom, A., Christensen, H. C., et al. (2006). Mobile phone use and risk of parotid gland tumor. *Amer. J. Epidemiol.* 164(7):637 – 643.
- Martinez-Burdalo, M., Martin, A., Anguiano, M., et al. (2004). Comparison of FDTD-calculated specific absorption rate in adults and children when using a mobile phone at 900 and 1800 MHz. *Phys. Med. Biol.* 49(2):345 – 354.
- Means, D. L., Chan, K. W. (2001). Federal Communications Commission, Office of Engineering & Technology. Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields. Supplement C (Edition 01-01) to OET Bulletin 65 (Edition 97-01). Federal Communications Commission, Washington, DC, USA.
- Motorola (2008). MOTOMANUAL, V195 GSM User's Manual p. 70. Motorola, Inc. Schaumburg, IL, USA.

- Muluk, N. B., Budak, G. G., Budak, B., et al. (2011). Distortion product otoacoustic emissions in infant, pregnant and non-pregnant adult rabbits: comparison for different stimulus levels. *Int. Adv. Otol.* 7(1): 102 – 110.
- Myung, S.-K., Ju, W., McDonald, D. D., et al. (2009). Mobile phone use and risk of tumors: a meta-analysis. *J. Clin. Oncol.* 27 (33):5565 – 5572.
- Nittby, H., Eberhardt, J., Malmgren, L., et al. (2009). Increased blood – brain barrier permeability in mammalian brain 7 days after exposure to the radiation from a GSM-900 mobile phone. *Pathophysiology* 16:103 – 112.
- Nokia (2003). User's Guide for Nokia 1100, Issue 1, p. 63. Nokia Corporation.
- Odaci, E., Bas, O., Kaplan, S. (2008). Effects of prenatal exposure to a 900 MHz electromagnetic field on the dentate gyrus of rats: a stereological and histopathological study. *Brain Res* 1238:224 – 229 Epub August 16, 2008.
- Otitoloju, A. A., Obe, I. A. I., Adewale, O. A., et al. (2010). Preliminary study on the induction of sperm head abnormalities in mice, *mus musculus*, exposed to radiofrequency radiations from global system for mobile communication base stations. *Bull. Environ. Contam. Toxicol* 84:51 – 54.
- Peyman, A., Rezazadeh, A. A., Gabriel, C. (2001). Changes in the dielectric properties of rat tissue as a function of age at microwave frequencies. *Phys. Med. Biol.* 46(6):1617 – 1629.
- Sadetzki, S., Chetrit, A., Jarus-Hakak, A., et al. (2008). Cellular phone use and risk of benign and malignant parotid gland tumors—a nationwide case-control study. *Amer. J. Epidemiol.* 167(4):457 – 467.
- Salford, L. G., Brun, A. E., Eberhardt, J. L., et al. (2003). Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environ. Health Perspect.* 111(7):881 – 883.
- Schwarz, C., Kratochvil, E., Pilger, A., et al. (2008). Radiofrequency electromagnetic fields (UMTS, 1,950 MHz) induce genotoxic effects in vitro in human fibroblasts but not in lymphocytes. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 81(6):755 – 767.
- The INTERPHONE Study Group(2010). Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case – control study. *Int J. Epidemiol.* (3):675 – 694.
- Tomruk, A., Guler, G., Sepici Dincel, A. S. (2010). The influence of 1800 MHz GSM-like signals on hepatic oxidative DNA and lipid damage in nonpregnant, pregnant, and newly born rabbits. *Cell Biochem. Biophys* 56:39 – 47.
- Tinnisword, A. D., Furse, C. M., Gandhi, O. P. (1998). Power deposition in the head and neck of an anatomically based human body model for plane wave exposures. *Phys. Med. Biol.* 43:2361 – 2378.
- Wang, J., Fujiwara, O. (2003). Comparison and evaluation of electromagnetic absorption characteristics in realistic human head models of adult and children for 900-MHz mobile telephones. *IEEE Trans. Microwave Theor. Techniq.* 51(3):966 – 971.
- Wiert, J., Hadjem, A., Wong, M. F., Bloch, I. (2008). Analysis of RF exposure in the head tissues of children and adults. *Phys. Med. Biol.* 53(13):3681 – 3695.
- YLE.fi (2009). Authority Recommends Restricting Childrens' Use of Mobiles. [http://yle.fi/uutiset/news/2009/01/authority\\_recommends\\_restricting\\_childrens\\_use\\_of\\_mobiles\\_466353.html](http://yle.fi/uutiset/news/2009/01/authority_recommends_restricting_childrens_use_of_mobiles_466353.html) (accessed August 25, 2010).



## Unterstützen Sie die Arbeit von Diagnose-Funk!

Ihr Mitgliedsbeitrag ermöglicht unsere Arbeit. Ihre Spende ermöglicht nicht nur den weiteren Ausbau von Diagnose-Funk, unsere geplanten Aktionen und Kampagnen, unsere vielfältige Informationsarbeit mit Internetseiten und Publikationen, sondern ist zugleich Anerkennung und Motivation für unsere Arbeit. Diagnose-Funk ist gemeinnützig, Ihre Spende ist steuerlich abzugsfähig.

### Impressum:

Diagnose-Funk Schweiz  
Giblenstrasse 3  
CH - 8049 Zürich  
kontakt@diagnose-funk.ch

Diagnose-Funk e.V.  
Postfach 15 04 48  
D - 70076 Stuttgart  
kontakt@diagnose-funk.de

Dezember 2011