



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der  
Strahlenschutzkommission  
Postfach 12 06 29  
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

---

## **Mobilfunk und Kinder**

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission  
und wissenschaftliche Begründung

---

Verabschiedet in der 213. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 05./ 06. Dezember 2006

## Inhaltsverzeichnis

<b>Stellungnahme</b> .....	<b>3</b>
1 Einleitung .....	4
2 Stellungnahme der Strahlenschutzkommission.....	5
3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	6
Literatur .....	8
<b>Wissenschaftliche Begründung</b> .....	<b>9</b>
1 Einleitung .....	10
2 Mobilfunknutzung durch Kinder und Jugendliche .....	10
2.1 Verbreitung von Mobiltelefonen bei Kindern .....	10
2.2 Mobilfunk-Expositionen bei Kindern.....	11
3 Strahlungsabsorption im kindlichen Kopf .....	12
3.1 Entwicklungsphysiologie des kindlichen Kopfes .....	12
3.1.1 Gehirnwachstum, Synaptogenese und Myelinisierung .....	12
3.1.2 Anatomische Veränderungen.....	12
3.2 Studien zum Absorptionsverhalten .....	13
4 Epidemiologische Studien zum Zusammenhang zwischen Krebs und Mobilfunkstrahlung .....	14
4.1 Studien zu Kindern.....	14
4.2 Mobiltelefone und mögliche Krebsrisiken bei Erwachsenen .....	15
5 Untersuchungen zur Gehirnfunktion.....	17
6 Exposition und Grenzwerte .....	19
6.1 SAR-Werte bei Kindern und Erwachsenen.....	19
6.2 Grenzwerte für Mobilfunk-Basisstationen und handgehaltene Mobiltelefone .....	20
6.3 Verringerung der Exposition des Mobiltelefon-Nutzers.....	22
7 Diskussion.....	23
Literatur .....	26

---

## **Mobilfunk und Kinder**

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

---

Verabschiedet in der 213. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 05./06. Dezember 2006

# 1 Einleitung

Die Nutzung von Mobiltelefonen („Handys“) hat in den letzten Jahren nicht nur bei Erwachsenen, sondern auch besonders bei Kindern und Jugendlichen stark zugenommen. Das Einstiegsalter hat sich dabei zu immer früheren Lebensjahren hin verschoben. Während noch im Jahre 1998 nur 3% der 12- bis 13-Jährigen ein Mobiltelefon besaßen, waren es im Jahre 2002 bereits 69%. Die entsprechenden Zahlen bei den 18- bis 19-Jährigen betragen 16% bzw. 91%. Ein Ende dieser Entwicklung ist noch nicht abzusehen.

Die Strahlenschutzkommission (SSK) hat im Jahre 2001 ausführlich zu „Grenzwerten und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“ Stellung genommen [SSK 01]. Gestützt auf „wissenschaftliche Nachweise“, „wissenschaftlich begründete Verdachtsmomente“ und „wissenschaftliche Hinweise“ kam sie zu dem Schluss, „dass auch nach Bewertung der neueren wissenschaftlichen Literatur keine neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse im Hinblick auf nachgewiesene Gesundheitsbeeinträchtigungen vorliegen, die Zweifel an der wissenschaftlichen Bewertung aufkommen lassen, die den Schutzkonzepten der ICNIRP<sup>1</sup> bzw. der EU-Ratsempfehlung zugrunde liegt“. Die vorgenannte Aussage bezog sich auf die gesamte Bevölkerung, die vorliegende Stellungnahme geht insbesondere auf Kinder und Jugendliche ein.

Die Frage, ob Kinder und Jugendliche im Vergleich zu Erwachsenen in Hinblick auf die Nutzung des Mobilfunks eines erhöhten Schutzes bedürfen, wird immer häufiger gestellt. Es wird argumentiert, dass diese im Laufe ihres Lebens erheblich länger den elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks ausgesetzt seien und nicht ausgeschlossen werden könne, dass der jugendliche Organismus empfindlicher als der des Erwachsenen reagiert. Daher ist es notwendig, sich mit möglichen Auswirkungen des Mobilfunks speziell auf die kindliche Gesundheit zu beschäftigen. Die Strahlenschutzkommission hat sich dieses Themas angenommen und dabei vor allem folgende Fragen behandelt:

1. Gibt es entscheidende Unterschiede in Bezug auf das Absorptionsverhalten zwischen Kindern und Erwachsenen?
2. Liegen wissenschaftliche Hinweise dafür vor, dass der jugendliche Organismus anders als der erwachsene auf Einwirkung von Mobilfunkfeldern reagiert?
3. Gibt es wissenschaftliche Hinweise einer kurzzeitigen oder dauerhaften Gesundheitsschädigung durch Mobilfunknutzung, insbesondere bei Kindern und Jugendlichen?
4. Gibt es wissenschaftliche Hinweise auf mögliche Einflüsse von Mobilfunkfeldern auf die körperliche und geistige Entwicklung im Kindes- und Jugendalter?

Im Vergleich zu den lokalen Expositionen des Mobiltelefon-Nutzers beim Telefonieren sind die Hintergrundexpositionen durch Mobilfunk-Basisstationen oder Rundfunk- und Fernsehsender von geringer Bedeutung. Die Ausschöpfung der Grenzwerte (ICNIRP [ICN 98], EU-Ratsempfehlung [EU 99]) bezüglich der Leistungsflussdichte liegt in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen im Mittel unter 0,1% und nur in seltenen Fällen über 1% [Bor 04].

Auf die o. g. Fragen wird in der folgenden Stellungnahme eingegangen, eine ausführliche Darstellung findet sich in der beigefügten „Wissenschaftlichen Begründung“.

---

<sup>1</sup> ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

## 2 Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

Die Mobilfunkwellen dringen aufgrund der verwendeten hohen Frequenzen nur wenig in den Körper ein. Bei der Nutzung von Mobiltelefonen treten derzeit die höchsten Expositionswerte am Kopf und zwar im Bereich des Ohres auf. Die Stärke der Exposition und die Lage des exponierten Bereiches hängen dabei von der Haltung des Mobiltelefons ab. Gegenüber Erwachsenen ergeben sich diesbezüglich bei Kindern aufgrund deren Kopfform, der Steifigkeit des Ohres als Distanzhalter und deren unterschiedlicher Haltungsgewohnheiten Unterschiede. Die Absorption hängt darüber hinaus von der Dicke des Schädelknochens, der Form und Größe des Schädels und den dielektrischen Eigenschaften von Schädelknochen und Gehirngewebe ab.

Die Unterschiede zu Erwachsenen sind in den ersten beiden Lebensjahren am größten und verringern sich mit zunehmendem Alter. Der Kopfumfang eines 5-jährigen Kindes erreicht bereits 95% des Kopfumfangs eines Erwachsenen. Die Dicke der Schädeldecke nimmt von ca. 4,5 mm im Alter von 5 Jahren bis auf ca. 7 mm bei Erwachsenen zu. Aufgrund der Unterschiede kann tendenziell eine höhere Exposition bei Kindern vor allem in den ersten Lebensjahren vermutet werden. Nach bisherigen Untersuchungen sind die anatomisch bedingten Expositionsunterschiede geringer als die interpersonellen Variationen. Über das Absorptionsverhalten bei Kindern unter 5 Jahren und Kleinkindern gibt es bisher keine hinreichenden Untersuchungen.

Es gibt nur wenige spezielle Untersuchungen über die Empfindlichkeit des kindlichen oder jugendlichen Organismus gegenüber möglichen Wirkungen von Mobilfunkfeldern. Diese wenigen Studien liefern weder wissenschaftliche Nachweise noch belastbare Hinweise auf eine erhöhte Empfindlichkeit. „In der Praxis sollte nicht generell davon ausgegangen werden, dass sich umweltbedingte Einflüsse bei Kindern stärker auf die Gesundheit auswirken als bei Erwachsenen“ [UBA 04]. Jede Noxe bedarf einer besonderen Betrachtung. Insbesondere ist es wissenschaftlich nicht begründet, aus der bei der Einwirkung ionisierender Strahlung nachgewiesenen besonderen Empfindlichkeit im Kindes- und Jugendalter auf ein analoges Verhalten bei Mobilfunkfeldern zu schließen. Bei den niederfrequenten (50 Hz) magnetischen Feldern gibt es aus epidemiologischen Studien Hinweise auf ein erhöhtes Leukämierisiko bei Kindern, nicht aber bei Erwachsenen. Im Hinblick auf die völlig verschiedenen Wechselwirkungsmechanismen können auch keine spezifischen Erkenntnisse über eine besondere Empfindlichkeit von Kindern gegenüber Mobilfunkfeldern abgeleitet werden; die Ergebnisse stützen aber die Motivation der SSK, bei den Wirkungen von Mobilfunkfeldern die Gruppe der Kinder separat zu betrachten.

Es gibt bisher keine epidemiologischen Studien über einen möglichen Zusammenhang zwischen Mobilfunknutzung und Krebs bei Kindern und Jugendlichen. Zur Beurteilung eines möglichen Risikos für Kinder müssen daher epidemiologische Studien bei erwachsenen Mobilfunknutzern herangezogen werden. Diese sind schon in einer Reihe von Ländern durchgeführt worden. Die bisherigen Ergebnisse zeigten überwiegend keinen statistisch signifikanten Zusammenhang von Krebserkrankungen mit Mobilfunknutzung. Die Aussagekraft der bisherigen Studien ist zwar nicht ausreichend, um das Risiko bei Langzeitanwendern mit sehr häufigem Mobilfunk-Gebrauch und potentiell langen Latenzzeiten zwischen Exposition und Erkrankung abschließend beurteilen zu können, die Studien zeigen aber, dass eine erhebliche Beeinflussung der Tumorpromotion oder eine deutliche Risikoerhöhung durch die Mobilfunknutzung nicht zu erwarten sind. Eine bessere Bewertung eventueller Risiken wird nach Abschluss des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms und einer von der Weltgesund-

heitsorganisation (WHO) initiierten großen internationalen Fall-Kontroll-Studie („Interphone-Studie“) erwartet.

Im Hinblick auf die Beeinflussung kognitiver Funktionen liegen nur wenige spezielle Untersuchungen an Kindern und Jugendlichen vor. Diese zeigen übereinstimmend keinen Effekt der Mobilfunkfelder. Studien an Erwachsenen sowie Laborexperimente mit Ratten stellen diesen Befund nicht in Frage. Die gefundenen Effekte konnten nicht reproduziert werden, und es ergab sich kein konsistenter Ergebnistrend. Die vorliegenden Untersuchungen liefern daher keine belastbaren Hinweise auf eine Beeinflussung kognitiver Funktionen durch Mobilfunknutzung bei Kindern.

Zusammenfassend kann in Bezug auf die eingangs gestellten Fragen festgestellt werden:

1. Die bisherigen wissenschaftlichen Untersuchungen belegen zwar eine tendenziell höhere Absorption in Kinderköpfen, die Unterschiede zu Erwachsenen nehmen jedoch bereits nach den ersten Lebensjahren stark ab und sind bei 5-Jährigen bereits kleiner als die interpersonellen Variationen. Für jüngere Kinder liegen bisher keine Studien vor.
2. Die wenigen bisherigen Untersuchungen an Kindern ab 5 Jahren ergeben keine belastbaren Hinweise auf eine erhöhte Empfindlichkeit des Organismus von Kindern und Jugendlichen.
3. Die gegenwärtige epidemiologische Literatur enthält keine belastbaren Daten, mit denen sich Gesundheitsschädigungen durch langzeitige Einwirkungen von Mobilfunkfeldern belegen ließen. Studien speziell zu Kindern existieren nicht.
4. In Bezug auf mögliche Einflüsse auf die körperliche oder geistige Entwicklung von Kindern und Jugendlichen durch Mobilfunkfelder liegen bisher keine wissenschaftlichen Untersuchungen vor. Eine Beeinflussung kognitiver Funktionen ist weder bei Erwachsenen noch bei Kindern belegt.

### **3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen**

Die SSK stellt fest, dass erst wenige Studien über potentielle gesundheitliche Auswirkungen des Mobilfunks auf Kinder und Jugendliche vorliegen und die gegenwärtige Datenlage keine wissenschaftlich fundierten Aussagen über mögliche altersspezifische Gesundheitsgefährdungen erlaubt. Aus dem Fehlen von belastbaren Untersuchungen kann weder auf ein erhöhtes noch auf ein vermindertes Risiko geschlossen werden.

Auch wenn nach derzeitigem wissenschaftlichem Kenntnisstand keine höhere Empfindlichkeit von Kindern und Jugendlichen gegenüber Hochfrequenzfeldern festgestellt werden kann, ist es u. a. wegen der längeren Lebenszeitexposition für diese Personengruppe und dem in Zukunft zu erwartenden Anstieg der Mobilfunkanwendungen ratsam, Empfehlungen zur Verringerung der Exposition zu beachten und Geräte mit niedrigen SAR-Werten zu verwenden. Eltern und Schule kommt hier in Anbetracht möglicher kindlicher Sorglosigkeit eine erhöhte Verantwortung zu.

- Die SSK empfiehlt, auf Hersteller und Betreiber einzuwirken, Geräte und Verfahren zu entwickeln, bei denen die Werte der spezifischen Absorptionsrate weiter vermindert werden. Es sollten konstruktive Maßnahmen zur Verminderung der Exposition verfolgt werden, z. B. durch ergonomisches Design zur Motivation einer biologisch günstigen Handhabung, durch Optimierung von Mobiltelefonen und deren Antennen, durch die serienmä-

ßige Beipackung von „Headsets“, durch akustische Rückkopplung der Dauer der Verbindung.

- Die SSK empfiehlt, dass Eltern, insbesondere bei Kindern im Vorschulalter, über die Nutzung von Mobiltelefonen unter Abwägung des Nutzens verantwortungsbewusst und umso restriktiver entscheiden, je jünger ein Kind ist.
- Die SSK betont, dass sich die Exposition durch geeignetes Nutzerverhalten verringern lässt (z.B. Standorte mit schlechten Empfangsbedingungen vermeiden, Gesprächsdauer kurz halten oder bevorzugt das Festnetz nutzen, Mobiltelefone mit geringer SAR auswählen und Abstand zwischen Antenne und Kopf vergrößern, z. B. durch die Benutzung von „Headsets“).
- Die SSK weist darauf hin, dass die Eltern durch die Nutzung tariflicher Maßnahmen die Exposition von Kindern und Jugendlichen begrenzen können, z. B. durch Verwendung von Kinder- und Jugendtarifen. Dies ist insbesondere unter dem Gesichtspunkt wichtig, dass durch neue Tarifgestaltung (z. B. „home zones“ und „flat rates“) der Einfluss der Kosten auf das Nutzerverhalten an Bedeutung verlieren könnte.

Nach derzeitigem Kenntnisstand sieht die SSK keine Notwendigkeit, darüberhinausgehende Maßnahmen für Kinder und Jugendliche in Bezug auf die Nutzung von Mobiltelefonen zu fordern.

Die ausgesprochenen Empfehlungen gründen sich nicht auf ein nachgewiesenes Gefahrenpotential, sondern auf den in Zukunft zu erwartenden Anstieg der Nutzung bestehender und Anwendung neuer Technologien in den verschiedensten Lebensbereichen, bei denen elektromagnetische Felder im Hochfrequenzbereich eingesetzt werden. Eine im Rahmen aller technischen und wissenschaftlichen Möglichkeiten zu realisierende Minimierung der Gesamtexposition ergibt sich auch ohne bisher nachgewiesene Gesundheitsrisiken als ein Gebot der vorausschauenden Technologieplanung.

Die SSK hebt hervor, dass diese Stellungnahme nicht als Befürwortung einer verstärkten Mobilfunknutzung durch Kinder und Jugendliche ausgelegt oder als Werbeargument verwendet werden kann.

Die SSK betont, dass diese Stellungnahme auf dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft beruht. Sie wird die weiteren wissenschaftlichen Untersuchungen auf den angesprochenen Gebieten kritisch verfolgen und begleiten.

## Literatur

- [Bor 04] Bornkessel, Chr., Schubert, M.: Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Zwischenbericht Analyse der Immissionsverteilung, Kamp-Lintfort (2004)
- [EU 99] EU-Empfehlung (1999/519/EG) des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)
- [ICN 98] ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Physics 74 (4), S. 494-522 (1998)
- [UBA 04] Umweltbundesamt: Umweltbedingte Gesundheitsrisiken - Was ist bei Kindern anders als bei Erwachsenen?, Umweltbundesamt (2004) ([www.apug.de](http://www.apug.de))



---

## **Mobilfunk und Kinder**

Wissenschaftliche Begründung zur  
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

---

Verabschiedet in der 213. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 05./06. Dezember 2006

# 1 Einleitung

In diesem wissenschaftlichen Anhang werden die Untersuchungen, auf welchen die Stellungnahme und die Empfehlungen basieren, zusammenfassend referiert. Wo möglich und sinnvoll, wird dabei auf Übersichtsartikel zurückgegriffen. Das Hauptgewicht liegt bei Arbeiten, die in international anerkannten Zeitschriften erschienen sind und davor einer kritischen Begutachtung unterzogen wurden („Peer Review“). Dieser Hinweis erscheint notwendig, da gerade auf dem Gebiet der Wirkung von Mobilfunkfeldern eine ausgedehnte „graue Literatur“ existiert, die nicht immer wissenschaftlichen Standards genügt.

Die angesprochenen Einzelfragen werden in den nachfolgenden Kapiteln abgehandelt. Für die Gesamtfragestellung sind neben den statistischen Daten zu Nutzung und Exposition (Kap. 2) vor allem die Betrachtungen in Bezug auf Unterschiede im Absorptionsverhalten zwischen Kindern und Erwachsenen wichtig (Kap. 3), weil hier eine Reihe von Studien vorliegt. Dabei müssen auch physiologische und anatomische Aspekte der Kopfentwicklung im Kindesalter berücksichtigt werden. Kapitel 4 und 5 sind epidemiologischen Studien zu möglichen Gesundheitseinwirkungen gewidmet (Krebs bzw. kognitive Funktionen und Beeinflussung der Hirnfunktion). Da spezifische Untersuchungen an Kindern bisher nicht vorliegen, wird in diesen Teilen vor allem Bezug auf Erwachsene genommen.

Ausschlaggebend für jede zu diskutierende gesundheitliche Wirkung ist die Exposition des Körpers. Sie wird durch Grenzwerte limitiert. Da sie an verschiedener Stelle angesprochen werden, fasst Kap. 6 die Überlegungen zusammen, die bei ihrer Etablierung ausschlaggebend waren.

In der abschließenden Diskussion wird die in der Empfehlung ausgesprochene Wertung im Einzelnen begründet.

## 2 Mobilfunknutzung durch Kinder und Jugendliche

### 2.1 Verbreitung von Mobiltelefonen bei Kindern

Informationen über den Zeitverlauf zur Verbreitung von Mobiltelefonen unter Kindern für Deutschland lassen sich vor allem über die JIM-Studie („Jugend, Information, (Multi-) Media“, [Mpf 02]) gewinnen. Hierbei wurden 1998, 2001 und 2002 etwa 800, 2000 und 1100 Kinder und Jugendliche zwischen 12 und 19 Jahren befragt. Der Mobiltelefon-Besitz unter den 12- bis 13-Jährigen stieg von 3% in 1998 auf 57% in 2001 und auf 69% in 2002 an. Für die 18- bis 19-Jährigen waren die entsprechenden Häufigkeiten 16%, 84% und 91%. Für die gesamte Altersgruppe hatten in 2002 noch immer mehr Mädchen als Jungen ein Mobiltelefon (87% gegenüber 77%).

In einer aktuellen Befragung im Rahmen von Projekten des Mobilfunk-Forschungsprogramms der Bundesregierung in 2003 gaben 93% der direkt befragten 14- bis 18-Jährigen an, Mobiltelefon-Nutzer zu sein [Inf 04]. Befragt zu ihren eigenen unter 16-jährigen Kindern gaben 17% der Eltern an, dass ihre Kinder häufig mit einem Mobiltelefon telefonieren, 33% immerhin gelegentlich bis selten.

In einer Schülerbefragung Ende 2002 bis Anfang 2003 von Viertklässlern in Mainz wurden mehr als 1900 Schülerinnen und Schüler systematisch nach ihren Mobiltelefon-Nutzungsgewohnheiten befragt [Böh 04]. Etwa ein Drittel der Kinder besaß ein eigenes Mobiltelefon (34,7%), wobei dies von Schule zu Schule sehr unterschiedlich häufig war (zwischen 8% und

56%). Bezüglich der Mobiltelefon-Nutzung antworteten 119 Kinder (6,2%), mindestens täglich mit dem Mobiltelefon zu telefonieren, 123 (6,4%) nutzten es mehrmals die Woche und 876 (45,6%) seltener. Die restlichen 805 (41,9%) Kinder nutzten nie ein Mobiltelefon. Selten als zum Telefonieren wurde das Mobiltelefon für SMS<sup>2</sup> genutzt. Häufigerer Mobiltelefon-Besitz sowie häufigere Mobiltelefon-Nutzung zeigten sich bei Kindern die häufiger Fernsehen schauten, die häufiger als andere am Computer saßen, die Mitglied in einem Sportverein waren und die spät zu Bett gingen. Mehr Mobiltelefon-Besitzer und auch Mobiltelefon-Nutzer gab es in Schulklassen mit höherer Anzahl ausländischer Schüler oder einer höheren Anzahl von Schülern aus sozial benachteiligten Familien. Einzelkinder sowie Kinder, die von der Schule mit dem Auto abgeholt wurden, waren häufiger Mobiltelefon-Besitzer, aber nicht Mobiltelefon-Nutzer, als andere Kinder.

Im internationalen Vergleich erscheint Deutschland als ein Land mit überdurchschnittlich hoher Verbreitung von Mobiltelefonen unter Kindern. Aus dem „Mobile Phone Youth Report 2002“ geht hervor, dass die Verbreitung von Mobiltelefonen in skandinavischen Ländern am höchsten ist, allerdings dicht gefolgt von westeuropäischen Ländern [WWF 02]. Die niedrigste Mobiltelefon-Verbreitung unter den Industrieländern fand sich für Nordamerika. Konkret wurden für Schweden 91%, Finnland und Großbritannien 90%, Deutschland 87%, Frankreich 81%, Spanien 72%, Australien 65% und die USA 40% genannt (Befragung der 15- bis 19-Jährigen in 2001/02).

## 2.2 Mobilfunk-Expositionen bei Kindern

Auch wenn nur wenige systematische Erhebungen vorliegen und die Repräsentativität mancher Erhebung schwer abzuschätzen ist, zeigt sich eine deutliche Zunahme der Mobiltelefon-Verbreitung unter Kindern weltweit. Verbunden ist dies mit einer Erhöhung der Gesamt-Exposition der heutigen Kinder im Vergleich zu heutigen Erwachsenen, wenn die Kinder dieses Alter erreicht haben [Shü 05]. Diese Zunahme setzt sich aus zwei Bestandteilen zusammen. Zum einen sind Kinder zu Beginn der Mobiltelefon-Nutzung immer jünger, zum anderen nimmt auch die Telefonierhäufigkeit unter Kindern wie auch Erwachsenen zu.

Um zu einer abschließenden Aussage über die tatsächliche Exposition zu kommen, fehlen allerdings belastbare Daten. Dies betrifft nicht nur weitere Daten zur Mobiltelefon-Verbreitung, sondern auch über die damit verbundenen typischen SAR<sup>3</sup>-Werte. In diesem Zusammenhang sind SAR-Werte verbunden mit alltäglichen Nutzungsgewohnheiten von Kindern von Interesse, aber auch die Verteilung der Exposition über verschiedene Körperteile bei den unterschiedlichen Mobiltelefon-Anwendungen (Telefonate, SMS, Spiele, Internet).

---

<sup>2</sup> SMS: Short Message Service

<sup>3</sup> SAR: Specific Absorption Rate

## **3 Strahlungsabsorption im kindlichen Kopf**

### **3.1 Entwicklungsphysiologie des kindlichen Kopfes**

#### **3.1.1 Gehirnwachstum, Synaptogenese und Myelinisierung**

Das embryonale Gehirn entsteht aus dem Neuralrohr, das kurz nach der Zeugung angelegt wird. Durch Wanderung von Glia- und Nervenzellen nimmt die Gehirnmasse rasch zu. Ein Neugeborenes verfügt über ca. hundert Milliarden Neuronen, die jedoch noch klein und wenig vernetzt sind. Ausdruck einer funktionellen Ausdifferenzierung der Neuronen sind das Dendritenwachstum und die Synapsenbildung. Dieser Prozess reicht bis weit in die postnatale Phase hinein. Ein drei Jahre altes Kind verfügt über etwa doppelt so viele Synapsen wie ein Erwachsener (ca. 200 Billionen). Diese Zahl bleibt bis zum Ende des ersten Lebensjahrzehnts etwa konstant, um dann im Jugendalter auf den halben Wert, der auch bei Erwachsenen gefunden wird, abzufallen. Um Aktionspotentiale mit hoher Geschwindigkeit über die Neuriten hinweg zu anderen Nervenzellen oder auch zur Muskulatur leiten zu können, ist eine elektrische Isolierung der Neuriten mit Lipiden erforderlich. Etwa um die (termingerechte) Geburt herum erfolgt die Myelinisierung der Neurite mit Cerebrosiden und Sphingomyelin. Die Myelinisierung wird erst im zweiten Lebensjahrzehnt endgültig abgeschlossen [Bac 90; Len 03].

Diese funktionalen Veränderungen spiegeln sich in der Massenzunahme des Hirns wider:

Zum Zeitpunkt der Geburt beträgt das Hirnvolumen ca. 300 cm<sup>3</sup>, der Kopfumfang beläuft sich auf 33-34 cm. Zum Ablauf des ersten Lebensjahres beträgt das Hirnvolumen durchschnittlich bereits 900 cm<sup>3</sup>, der Kopfumfang steigt auf 46-47 cm. Hirnvolumen und Kopfumfang eines 5-jährigen Kindes entsprechen bereits ca. 93 bzw. 95% der Werte für den Kopf eines Erwachsenen [Koe 95].

#### **3.1.2 Anatomische Veränderungen**

Die hierzu publizierten Daten sind spärlich und unterscheiden sich etwas voneinander, je nach Methodik, genauer anatomischer Lokalisation und Definition [Koe 95; And 03; Sei 00; Wia 05]. Die nachfolgenden Angaben geben aber die Altersabhängigkeit der Dicke der Schädeldecke und der Kopfhaut im Großen und Ganzen korrekt wieder.

Die Dicke der Schädeldecke beträgt zum Zeitpunkt der Geburt ca. 1,4 mm und wächst im Verlauf von 12 Jahren auf eine Stärke von durchschnittlich 6,8 mm an (das entspricht 88% der Dicke des Schädels eines Erwachsenen) [Koe 95].

Alle Kinder weisen bei der Geburt eine offene vordere Fontanelle und offene Schädelnähte auf. Die Fontanellenfläche schwankt zwischen etwa 1 und 12 cm<sup>2</sup>. Der Fontanellenschluss ist in der Regel mit zwei Jahren abgeschlossen.

Die Dicke der Kopfhaut ist für die Absorption mobilfunkbedingter Hochfrequenzfelder möglicherweise ebenfalls von Bedeutung. Sie beträgt im Alter von 2-3 Jahren etwa 1,2 mm, im Alter von 11-13 Jahren etwa 1,6 mm und erreicht 2 mm bei Erwachsenen [Sei 00].

## 3.2 Studien zum Absorptionsverhalten

Die messtechnische Bestimmung der durch das Feld eines Mobiltelefons im menschlichen Körper und insbesondere im Kopf erzeugten Feld- und SAR-Verteilung kann aus naheliegenden Gründen nicht mit invasiven Messmethoden durchgeführt werden.

Messtechnische Untersuchungen werden deshalb immer an Phantomen durchgeführt, wobei aus Praktikabilitätsgründen nur solche mit homogener Materialverteilung oder solche mit einfachem Schichtaufbau verwendet werden. Die zurzeit vorliegenden Untersuchungen zur Frage einer möglicherweise unterschiedlichen Feldverteilung in Köpfen von Erwachsenen und von Kindern basieren deshalb auf numerischen Simulationen. Korrekt angewendet, liefern die Methoden eindeutige Ergebnisse zu den jeweiligen eingesetzten Modellen.

Die ersten wichtigen Beiträge zu möglicherweise vorhandenen Unterschieden wurden 1996 und 1997 von Gandhi et al. veröffentlicht [Gan 96]. Als Modell für den Kopf eines Erwachsenen verwenden die Autoren den aus MRT<sup>4</sup>-Bildern gewonnenen „Utah-Kopf“. Dieses Modell wird unter Beibehaltung der anatomischen Details so verkleinert, dass die Abmessungen der so gewonnenen neuen Modelle denen der Köpfe von zehnjährigen und fünfjährigen Kindern entsprechen. Die Berechnungen ergeben zum Teil erhebliche Unterschiede für die SAR-Verteilung, so z. B. um einen Faktor von etwa 3 für den maximalen auf 1 g gemittelten SAR-Wert bei 835 MHz. Für 1900 MHz stellt sich ein geringerer, aber immer noch deutlicher Unterschied ein. Außerdem stellen die Autoren fest, dass die relative Eindringtiefe bei den kleineren Kopfmodellen deutlich höher ist als bei den größeren.

Etwa gleichzeitig zu den Arbeiten der Gruppe um Gandhi wurden zwei Beiträge veröffentlicht, die sich zwar nicht explizit mit Köpfen von Kindern, sondern mit Köpfen von Erwachsenen deutlich unterschiedlicher Größe befassen (Hombach et al. [Hom 96] und Meier et al. [Mei 97]). Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass zwar die lokale SAR-Verteilung stark von den anatomischen Details der Modelle abhängt, jedoch die maximalen auf 1 g und 10 g gemittelten SAR-Werte nicht stark von der Form und der Größe der Modelle beeinflusst werden.

In einer anderen Arbeit (Schönborn et al. [Sch 98]) werden die SAR-Verteilungen in einem Kopf eines Erwachsenen, eines drei- und eines siebenjährigen Kindes untersucht. Alle drei Kopfmodelle basieren auf MRT-Aufnahmen. Es ergibt sich, dass keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Absorption elektromagnetischer Felder im Nahfeld dieser Quellen zwischen den Köpfen Erwachsener und Kinder festzustellen sind. Im Jahr 2002 erschien eine neue Arbeit der Gruppe um Gandhi [Gan 02], die an die von 1996 anschließt. Als Ergebnis ergibt sich, dass der maximale auf 1 g gemittelte SAR-Wert stetig mit der Verkleinerung der Kopfabmessungen zunimmt. Analog ergeben sich bei den kleineren Köpfen größere Eindringtiefen.

In der Untersuchung von Wang und Fujiwara [Wan 03] werden die widersprüchlichen Ergebnisse von Gandhi et al. [Gan 96] und Schönborn et al. [Sch 98] zunächst zitiert und als Ausgangspunkt für eigene Berechnungen genommen. Als Modelle für Kinderköpfe werden die eines drei- und eines siebenjährigen Kindes aus dem Kopfmodell eines erwachsenen Japaners auf der Basis von komplexen statistischen Erhebungen zu unterschiedlichen Kopfformen in Abhängigkeit vom Alter entwickelt. Es ergibt sich, dass der maximale auf 1 g gemittelte SAR-Wert in den Kinderköpfen um 31,5% größer ist als in dem Erwachsenenkopf, wenn die

---

<sup>4</sup> MRT: **M**agnet-**R**esonanz-**T**omographie

abgestrahlte Leistung konstant gehalten wird. Die Unterschiede sind deutlich geringer als von Gandhi et al. [Gan 96] berichtet. In der Veröffentlichung von Hadjem et al. [Had 05] werden unterschiedliche Kopfmodelle für Erwachsene und für Kinder verwendet. Die Autoren berichten, dass für alle wichtigen SAR-Werte keine großen Unterschiede festzustellen seien.

In der Arbeit von Christ et al. [Cht 05a] werden drei verschiedene anatomisch korrekte Kopfmodelle verwendet. Es zeigt sich deutlich, dass die über 10 g gemittelten maximalen SAR-Werte nicht von der Kopfgröße abhängen. So ist der SAR-Wert für den Frauenkopf in etwa gleich dem für den Kopf des männlichen oder weiblichen dreijährigen Kindes.

In der Veröffentlichung von Bit-Babik et al. [Bit 05] wird versucht, die Diskrepanz zwischen den Ergebnissen unterschiedlicher Arbeiten zu klären. Dabei werden insbesondere unterschiedliche Rechenverfahren und SAR-Mittelungsverfahren untersucht. Es ergeben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede für die Köpfe von Erwachsenen und von Kindern. Aus der Bestimmung der Eindringtiefen konnten ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Werten für Kinder- und für Erwachsenenköpfe festgestellt werden. Die Ergebnisse widersprechen damit insgesamt den von Gandhi et al. [Gan 96] veröffentlichten. Als Grund für die Abweichungen in den Arbeiten der Gruppe von Gandhi wird heute die Nichtberücksichtigung der Rückwirkung des Kopfes auf die Antenne angesehen.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass alle vorliegenden Untersuchungen – bis auf die 1996 von der Gruppe um Gandhi veröffentlichte Studie – keine gravierenden Unterschiede in der Exposition von Kinder- und Erwachsenenköpfen haben feststellen können. Dies wird auch in neueren Übersichtsarbeiten bestätigt [Wia 05; Cht 05b]. Auch Keshvari und Lang [Kes 05] kommen zu dem Schluss, dass anatomische Unterschiede eine größere Rolle spielen als das Lebensalter.

## **4 Epidemiologische Studien zum Zusammenhang zwischen Krebs und Mobilfunkstrahlung**

### **4.1 Studien zu Kindern**

Es gibt derzeit noch keine epidemiologische Erhebung, in der ein möglicher Zusammenhang zwischen Erkrankungsrisiken bei Kindern und der Nutzung von Mobiltelefonen untersucht wurde. Die Mobiltelefon-Nutzung unter Kindern ist ein eher jüngeres Phänomen [Böh 04]. In Anbetracht der langen Latenzzeiten chronischer Erkrankungen auch bei Kindern und der beschränkten Nutzungsdauer der neuen Technologie waren bisher die Möglichkeiten zu Langzeitstudien beschränkt. Seit Juni 2006 läuft eine Fall-Kontroll-Studie zu Ursachen von Hirntumoren bei 7- bis 19-Jährigen in Dänemark, Norwegen, Schweden und der Schweiz. Ergebnisse werden 2009 erwartet.

Zur Frage von Krebsrisiken bei Kindern und Expositionen mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern gibt es einige Inzidenzstudien im Umkreis von Fernseh- und Radio-Sendeanlagen. Nur bei wenigen Studien war aber die beobachtete Population überhaupt groß genug, um eine mögliche Inzidenzerhöhung von Krebserkrankungen feststellen zu können. Bei drei Studien ergaben sich Hinweise auf ein häufigeres Auftreten von Leukämieerkrankungen im Nahbereich der Sender. Bei einer zweiten Überprüfung der Daten ergaben sich jedoch bei allen drei im Folgenden aufgeführten Studien Befunde, welche die Plausibilität der Ergebnisse in Frage stellten.

In Australien wurde eine Häufung von Leukämiefällen in einem Stadtteil von Sydney im Nahbereich von drei Fernseh- und Radiosendern beobachtet. Es zeigte sich jedoch keine „Dosis“-Wirkungs-Beziehung, da die insgesamt verzeichnete Häufung von Leukämiefällen bei Kindern nur in einem von drei an den Sender angrenzenden Stadtteilen beobachtet wurde. Dort war die Häufung während jenem Zeitraum am auffälligsten, als die Sender noch nicht über 24 Stunden sendeten und die stärkste Antenne noch nicht in Betrieb war [Hoc 96; McK 98]. In Großbritannien wurde eine Cluster-Studie um einen einzelnen Sender in Sutton Coldfield (erhöhte Leukämie-Inzidenz für alle Altersgruppen zusammengefasst) nach identischer Methodik auf zwanzig weitere, vergleichbare Senderstandorte ausgedehnt. Die auffälligen Befunde der ersten Studie konnten nicht reproduziert werden. Man fand keine Erkrankungshäufung im Nahbereich eines der anderen Sender und eine Zusammenfassung der Resultate ergab einen unauffälligen Befund [Dol 97]. In Italien wurde eine ökologische Studie im Umkreis der Sender von Radio Vatikan, einer vergleichsweise starken Sendeeinrichtung, durchgeführt. Eine höhere Leukämiemortalität unter Erwachsenen zeigte sich für Männer, nicht aber für Frauen. Für Kinder wurde eine erhöhte Inzidenz beobachtet, basierend aber auf nur vier Erkrankungsfällen im Nahbereich der Sender. Zwar wurde für Kinder eine „Distanz-Wirkungs-Beziehung“ gezeigt, es konnte aber nicht nachgewiesen werden, dass die tatsächliche Exposition ausreichend gut mit der Distanz korrelierte [Mic 02].

Trotz der teilweise auffälligen Häufungen von Leukämieerkrankungen bieten die wenigen epidemiologischen Studien kaum Evidenz für eine Assoziation zwischen Krebserkrankungen und der Exposition durch elektromagnetische Felder von Sendeeinrichtungen. Limitierungen der Studien sind die meist kleinen Fallzahlen, die grobe Schätzung der Exposition über die Entfernung des Wohnortes zur Sendeanlage und der ökologische Studienansatz, der nur Bevölkerungsgruppen, nicht aber Expositionserhebungen bei Individuen einbezieht. Bisher gibt es keine Studie zu Krebserkrankungen durch von Mobilfunk-Basisstationen emittierte Hochfrequenzfelder. Im Rahmen des britischen Mobilfunk-Forschungsprogramms läuft allerdings eine Studie zu Leukämieerkrankungen bei Kindern, die in der Nähe einer Mobilfunk-Basisstation wohnen. Im Rahmen des deutschen Mobilfunkforschungsprogramms läuft eine Studie zu Leukämieerkrankungen bei Kindern in der Nähe von Sendeanlagen von Rundfunk und Fernsehen.

## 4.2 Mobiltelefone und mögliche Krebsrisiken bei Erwachsenen

Aufgrund fehlender Studien speziell zu Kindern ist eine zusammengefasste Betrachtung der Studien zu Erwachsenen sinnvoll. Sollten sich hier Hinweise auf ein Risiko ergeben, müssten zwangsläufig auch Vorkehrungen zum Schutz von Kindern getroffen werden.

Bereits früh wurden fünf Fall-Kontroll-Studien zu Mobiltelefonen und einem möglichen Gehirntumorrisiko gestartet, davon zwei in den USA, eine in Finnland und zwei in Schweden (von der gleichen Forschergruppe). In den amerikanischen sowie der ersten schwedischen Studie zeigte sich kein Zusammenhang [Har 99; Ins 01; Mus 00; Mus 02]. Somit stützen diese Studien nicht die Ergebnisse der finnischen Studie, in der sich bereits nach 1-2 Jahren Nutzung eines analogen (nicht pulsmodulierten) Mobiltelefons eine Risikoverdopplung für die Untergruppe der Gliome zeigte, nicht aber für andere Hirntumorentitäten [Auv 02]. In der zweiten schwedischen Studie wurde ebenfalls ein erhöhtes Risiko beobachtet, das vor allem die malignen Tumoren und die Akustikusneurinome betraf [Har 06a; Har 06b] (die genannten Literaturstellen beziehen sich auf eine zusammengefasste Auswertung der von den Autoren durchgeführten Teilstudien und umfassten die Ergebnisse früherer Veröffentlichungen der Gruppe). Ein fast vierfach erhöhtes Risiko zeigte sich hierbei nach einer mehr als fünfzehnjährigen Mobiltelefon-Nutzung für die Akustikusneurinome. Ein derart langer Expositionszeitraum konnte in allen anderen Studien nicht analysiert werden. Die schwedische Studie

steht allerdings methodisch in der Kritik. Weil sie sich auf prävalente Krebsfälle bezog, waren viele der Patienten vor Studiendurchführung bereits verstorben. Ferner war die Durchführung der Befragung nicht optimal, und eine Risikoüberschätzung als Artefakt durch das Antwortverhalten der Probanden ist nicht auszuschließen. Die schwedische Studie wurde mehrfach in ähnlicher Form publiziert, darunter auch teils mit einigen Subgruppenanalysen. Hierbei kristallisierte sich unter anderem ein höheres Risiko für diejenigen heraus, die in ländlichen Regionen leben [Har 05].

Die unterschiedlichen Ergebnisse dieser Studien kommen nicht unerwartet. Da bereits früher vermutet wurde, dass Einzelstudien besonders für ausgewählte Tumortopographien oder -morphologien zum Nachweis eines (falls vorhandenen) eher kleinen Risikos nicht ausreichend wären, initiierte die Weltgesundheitsorganisation (WHO) frühzeitig eine internationale Fall-Kontroll-Studie mit einem einheitlichen Studienprotokoll. Für diese bis 2007 laufende „Interphone-Studie“ wurden etwa 7000 Fälle mit Gliom, Meningeom oder Akustikusneurinom rekrutiert. Die große Studienpopulation erlaubt es, eine Charakterisierung des Tumors nach seiner spezifischen Lokalisation in unterschiedlich exponierten Gehirnarealen vorzunehmen [Car 99].

Inzwischen wurden sieben Einzelberichte aus der „Interphone-Studie“ veröffentlicht, davon vier zu Gehirntumoren (Gliome und/oder Meningeome) [Lön 05; Chr 05; Hep 06; Shü 06] sowie drei zu Akustikusneurinomen [Chr 04; Lön 04; Soe 05]. In keiner der vier Studien wurde ein Zusammenhang zwischen dem Gehirntumorrisiko und einer Nutzungsdauer eines Mobiltelefons von weniger als 10 Jahren beobachtet. Bei einer längeren Nutzung zeigte sich in keiner Studie ein erhöhtes Risiko für Meningeome [Lön 05; Chr 05; Shü 06]. Bei den Gliomen wurde für die Gruppe der Langzeitanwender (10 Jahre und mehr) sowohl in Schweden (25 Gliompatienten mit Langzeitanwendung [Lön 05]) als auch Dänemark (14 Gliompatienten [Chr 05]) und Großbritannien (66 Gliompatienten [Hep 06]) kein erhöhtes Risiko beobachtet, während in Deutschland das Risiko in dieser Gruppe doppelt so hoch war (12 Gliompatienten [Shü 06]). Fasst man diese Erkenntnisse zusammen, so sprechen sie bisher eher gegen einen Zusammenhang zwischen einer Mobiltelefonnutzung und dem Risiko, an einem Gehirntumor zu erkranken. Auch wenn vor Abschluss der Gesamtstudie noch keine voreiligen Schlüsse bezüglich der Langzeitanwender mit häufiger Mobiltelefonnutzung gezogen werden sollten, so lassen die bereits vorliegenden Ergebnisse vermuten, dass auch in dieser Anwendergruppe zumindest keine deutliche Risikoerhöhung zu erwarten ist.

Das Erkrankungsrisiko bezüglich eines Akustikusneurinoms war in der schwedischen Studie [Lön 04] für Langzeitnutzer erhöht, in der dänischen [Chr 04] erniedrigt, wobei die schwedische Studie in dieser Gruppe mehr Probanden aufwies. In beiden Studien wurde kein Zusammenhang mit einer kürzeren Nutzung als 10 Jahre beobachtet. Eine gemeinsame Auswertung von fünf Ländern der „Interphone-Studie“ (Dänemark, Schweden, Norwegen, Finnland, Großbritannien) fand auf Basis von 678 Patienten mit einem Akustikusneurinom und 3553 Kontrollpersonen keinen Zusammenhang zwischen der Nutzung eines Mobiltelefons und dem Tumorrisiko [Soe 05]. Ein leicht erhöhtes Risiko von 1,8 fand sich für Langzeitnutzer, die das Mobiltelefon vorwiegend an die später durch den Tumor betroffene Kopfseite hielten. Diesem Ergebnis liegt aber vor allem die bereits genannte schwedische Einzelstudie zugrunde, die alleine 9 der 23 betroffenen Patienten in dieser Gruppe beitrug und eine Risikoerhöhung um den Faktor 3,1 berichtet hatte. Es bleibt also noch offen, wie sich dieses Teilergebnis nach Einschluss aller an der „Interphone-Studie“ beteiligten Länder und der Erhöhung der Fallzahl auf mehr als 1000 Patienten darstellt.

Zu anderen Tumorentitäten gibt es bisher nur Einzelstudien. Eine dänische, retrospektive Kohortenstudie ist aufgrund der großen Studienpopulation und ihrer Repräsentativität für die



Bevölkerung besonders aussagekräftig [Joh 01]. Sie ergab in der Kohorte der Mobiltelefon-Besitzer erniedrigte Raten von solchen Krebserkrankungen, die bekanntermaßen mit Lebensstilfaktoren wie Rauchen, Alkoholkonsum und ungesunder Ernährung assoziiert sind, z. B. Lungenkrebs, Speiseröhrenkrebs oder Magenkrebs. Insofern belegt diese Studie, dass die Gruppe der frühen Mobiltelefon-Besitzer in Charakteristika wie Bildungsstand, Lebensstil (Rauchen, Ernährung etc.) und den gewählten beruflichen Tätigkeitsfeldern von der Allgemeinbevölkerung abweicht. Für die bezüglich der Mobiltelefon-Nutzung besonders interessanten Diagnosen, d.h. Gehirntumoren und Leukämien, lagen die beobachteten Inzidenzraten dicht bei den für die Allgemeinbevölkerung erwarteten Werten. In einer deutschen Fall-Kontroll-Studie wurde unter Mobiltelefon-Nutzern ein erhöhtes Risiko für Uveamelanome ermittelt [Sta 01]. Die Exposition wurde allerdings nur indirekt erhoben. Eine Folgestudie läuft.

Die Aussagekraft der bisherigen Studien ist nicht ausreichend, um das Risiko bei Langzeitanwendern mit sehr häufigem Mobilfunktelefon-Gebrauch und potentiell langen Latenzzeiten zwischen Exposition und Erkrankung abschließend beurteilen zu können [Shü 04]. Zusammengefasst zeigen die Studien bisher aber keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Gehirntumorrisiko und lassen bereits jetzt auf Basis der wenigen Langzeitanwender vermuten, dass zumindest eine deutliche Risikoerhöhung nicht zu erwarten ist. Zu dieser Einschätzung kommen auch weitere Übersichtsarbeiten [Ber 05a; Ahl 04]. Eine bessere Bewertung wird nach Abschluss der „Interphone-Studie“ erwartet. Auch die weitere Beobachtung von zeitlichen Inzidenztrends erscheint sinnvoll. Weil in den Anfangsjahren des Mobilfunks viel mehr Männer als Frauen diese Technik nutzten und die meiste Strahlung von temporal gelegenen (seitlichen) Gehirnarealen absorbiert wird, wäre (unter der Annahme eines Risikos) eine Verschiebung beim Geschlechter-Verhältnis hin zu mehr erkrankten Männern oder eine Änderung der Verteilung der Tumorlokalisationen hin zu mehr temporal gelegenen Tumoren zu erwarten.

Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass auch im Tierversuch keine karzinogene Wirkung von Mobilfunkfeldern nachgewiesen werden konnte [Som 04]. Eine ausführliche Diskussion dieser Untersuchungen liegt allerdings außerhalb des Rahmens dieser Stellungnahme.

## 5 Untersuchungen zur Gehirnfunktion

Eine Wechselwirkung zwischen elektromagnetischen Feldern und dem Gehirn ist *a priori* nicht auszuschließen. Es gibt daher eine Reihe von Untersuchungen, die sich mit diesem Fragenkomplex beschäftigen, allerdings nur zwei im Hinblick auf Kinder. Die Autoren der ersten (Preece et al. [Pre 05]) stellten u. a. eine gewisse, statistisch nicht signifikante Verringerung der Reaktionszeit unter Feldeinfluss fest. Ähnliche, in diesem Fall jedoch statistisch signifikante Effekte waren von der gleichen Gruppe zuvor in Erwachsenen gefunden worden. Die Befunde der Kinderstudie wurden in einer unabhängigen Untersuchung bestätigt [Haa 05]. Das letztgenannte Labor hat sich in einer Reihe von Arbeiten auch mit Feldeffekten auf kognitive Funktionen bei Erwachsenen auseinandergesetzt und sich durch Replikationsexperimente bemüht, die erhaltenen Resultate abzusichern. Generell kommen diese Studien (Haarala et al. [Haa 04], Krause et al. [Kra 04], Haarala et al. [Haa 03]) zu dem Schluss, dass sich auch bei Erwachsenen Wirkungen auf kognitive Funktionen nicht statistisch signifikant nachweisen lassen. Schwache feststellbare Effekte deuten in der Regel auf eine Verkürzung der Reaktionszeiten und eine Erhöhung der Vigilanz (*Aufmerksamkeit, Wachheit*) hin. Ähnliche

Tendenzen werden durch eine ausführliche Studie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin [Hen 00] belegt.

Eine niederländische Forschergruppe beschäftigte sich in einer ausführlichen Studie mit dem möglichen Einfluss von Mobilfunkfeldern auf das menschliche Wohlbefinden und kognitive Funktionen [Zwa 03]. Die nach dem „Doppelblindverfahren“ durchgeführten Experimente zeigten in einigen Fällen (schwache) Assoziationen, wobei bemerkenswert ist, dass die Feldstärken weit unter den bei handgehaltenen Mobiltelefonen lagen. Eine kritische Analyse [TNO 04] kam zu dem Schluss, dass aus den Resultaten keine klaren Rückschlüsse auf eine Gesundheitsbeeinträchtigung gezogen werden können. Es wurde eine Wiederholungsstudie empfohlen. Mit Ergebnissen ist im Laufe des Jahres 2006 zu rechnen. Neuere Studien anderer Autoren [Eli 06, Ham 06, Rus 06, Wil 06] konnten keinen Zusammenhang zwischen normaler Mobilfunknutzung und einer Beeinflussung kognitiver Funktionen feststellen.

Mögliche Einflüsse auf die Gehirnfunktion könnten sich auch in Veränderungen im Elektroenzephalogramm (EEG) niederschlagen. Es darf bei solchen Studien jedoch nicht übersehen werden, dass der Ausschluss rein elektronischer Interferenzen mit der Aufnahmeapparatur nicht trivial ist. Diese Frage wird in der Literatur meist nur am Rande behandelt (s. z. B. [Kam 03]). Einen indirekten Hinweis liefert eine neuere Arbeit von Curcio et al. [Cur 05], in der explizit darauf hingewiesen wird, dass EEG-Modifikationen nur während der Betriebszeit des Mobiltelefons auftraten. Es gibt eine große Zahl von Publikationen, in denen über Veränderungen des EEGs durch Mobilfunktelefonie berichtet wird, eine Systematik lässt sich jedoch nicht erkennen. Nur in sehr wenigen Fällen wurden Replikationsstudien durchgeführt. Eine Ausnahme in dieser Hinsicht stellt die Arbeit von Krause et al. [Kra 04] dar, in der explizit konstatiert wird, dass sich die Ergebnisse zweier analog angelegter Studien teilweise diametral widersprachen, sich auf jeden Fall aber nicht bestätigen ließen. Eine umfassende Übersicht über alle Arbeiten, welche EEG-Veränderungen behandeln, kann hier nicht gegeben werden, auch fehlt in der Literatur bisher eine zusammenfassende Darstellung. Man kann aber feststellen, dass etwaige berichtete Veränderungen im EEG durch Mobilfunkfelder sich nahezu ausschließlich im physiologischen Bereich bewegen, so dass sich hieraus relevante Einflüsse auf kognitive Funktionen nur schwerlich ableiten lassen (s. a. [SSI 04]).

Im Zusammenhang mit der Funktion des Gehirns wird auch die Möglichkeit einer Öffnung der Blut-Hirn-Schranke unter dem Einfluss von Mobilfunkfeldern diskutiert, die vor allem von einer schwedischen Gruppe (Salford et al.) im Tierversuch festgestellt wurde [Sal 03]. Es gibt allerdings eine Reihe neuerer dem widersprechender Berichte (Cosquer et al. [Cos 05], Tsurita et al. [Tsu 00], Kuribayashi et al. [Kur 05], Franke et al. [Fra 05]). Derzeit laufen an verschiedenen Stellen Replikationsstudien, die möglicherweise zu einer Klärung führen könnten.

Hossmann und Hermann [Hos 03] kommen in einer größeren Übersicht über Arbeiten zur Wechselwirkung von Mobilfunkfeldern und dem Zentralnervensystem zu dem zusammenfassenden Schluss, dass die veröffentlichten Ergebnisse widersprüchlich, kaum durch Wiederholungen bestätigt und darüber hinaus eventuelle Auswirkungen so schwach sind, dass sie sich kaum vom Normalbereich der untersuchten Parameter unterscheiden. Die Autoren schließen daher eine gesundheitsgefährdende Wirkung für Erwachsene und Kinder im nichtthermischen Bereich aus. Damit befinden sie sich in Übereinstimmung mit internationalen Gremien, z. B. der schwedischen Strahlenschutzagentur SSI [SSI 04, SSI 05]. Eine kritische Übersicht über Arbeiten zu Nicht-Krebs-Erkrankungen, welche möglicherweise mit Hochfrequenzfeldern (HF-Feldern) in Zusammenhang stehen könnten, schließt mit der Feststellung, dass weder für Erwachsene noch für Kinder belastbare Daten für den Beweis einer solchen Assoziation vorhanden sind [Fey 05].

## 6 Exposition und Grenzwerte

### 6.1 SAR-Werte bei Kindern und Erwachsenen

Die Energieabsorption im Kopf von Mobilfunknutzern beim Telefonieren hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, wie beispielsweise:

- von der Position des Mobiltelefons am Kopf,
- von den Empfangsbedingungen (in engen Strassen einer Innenstadt, in geschlossenen Räumen oder abgeschirmten Orten (Kfz) sind die Expositionen höher) und
- von der technischen Gestaltung der Mobiltelefone, einschließlich der Antenne.

Es wird diskutiert, ob bei Kindern wegen der anatomischen Unterschiede unter gleichen Nutzungsbedingungen höhere SAR-Werte auftreten als bei Erwachsenen. Dies ist ausführlich in Kap. 3.2 behandelt. Es ist festzuhalten, dass die SAR-Werte bei Kindern und Erwachsenen unter gleichen Nutzungsbedingungen als vergleichbar anzusehen sind. In der Anwendung spielen Variationen der Exposition aufgrund der oben genannten Faktoren eine wesentlich größere Rolle.

Bisher liegen kaum Untersuchungen vor, die sich mit der tatsächlichen Exposition bei der Benutzung eines Mobiltelefons unter realen Bedingungen befassen. Da eine direkte Messung der SAR-Werte im Kopf des Nutzers nicht möglich ist, führen nur indirekte Methoden oder Phantommessungen weiter. Bei den standardisierten Messverfahren [DIN 03] handelt es sich um eine „worst case“-Betrachtung, da das Mobiltelefon während der Messung auf der höchsten Leistungsstufe sendet.

Unter Normalbedingungen wird die Sendeleistung von Mobiltelefonen in Abhängigkeit von der Verbindungsqualität zur Basisstation permanent in 15 Stufen (GSM 900) oder 16 Stufen (GSM 1800) geregelt. Der Unterschiedsfaktor zwischen maximaler und minimaler Sendeleistung beträgt etwa 100. Gesteuert wird die Sendeleistungsregelung durch die Basisstation. Diese überwacht den Pegel und veranlasst das Telefon, je nach Veränderung der Verbindungsqualität die Sendeleistung zu verringern oder zu erhöhen. Dazu wird etwa alle 0,5 Sekunden ein „Power-Control“-Kommando an das Telefon gesendet. Wichtig für die Betrachtung der mittleren Sendeleistung ist, dass ein Mobiltelefon zu Beginn einer Gesprächsverbindung immer mit maximaler Sendeleistung arbeitet und erst nach erfolgtem Verbindungsaufbau nach einiger Zeit (innerhalb weniger Sekunden bis zu etwa 20 Sekunden, je nach Verbindungsqualität) immer nur mit der für die Aufrechterhaltung der Gesprächsverbindung minimal notwendigen Leistung sendet. Gleiches Verhalten zeigen Mobiltelefone nach einem Wechsel der Mobilfunkzelle („Handover“).

Untersuchungen über die jeweilige Sendeleistung von Mobiltelefonen unter realen Betriebsbedingungen liefern daher durchaus Hinweise über die Höhe der tatsächlichen SAR-Werte. Die mittlere Sendeleistung eines Telefons kann dabei als Maß für die Exposition des Telefonnutzers herangezogen werden.

Einige Untersuchungen zu diesem Thema laufen derzeit im Rahmen des „Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms“ [[www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de](http://www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de); Wus 05a]. Aus Messungen in Innenstadtbereichen lassen sich folgende typische Ergebnisse zusammenfassen:

- Bei enger Bebauung ergeben sich nur in unmittelbarer Nähe der Basisstationen (ca. 100 m Umkreis) Bereiche mit stark verringerter Sendeleistung. Sonst liegen die Sendeleistungen typischerweise im Bereich von 25-50% der maximalen Sendeleistung,
- in Stadtzentren mit einem Mikrozellenetz kommen Telefone innerhalb kleiner Bereiche mit geringer Sendeleistung aus, typischerweise ca. 10% der maximalen Sendeleistung. Die Reichweite der Mikrozellen ist jedoch gering,
- eine Versorgung beispielsweise kleinerer Ortschaften durch außerhalb errichtete Basisstationen führt dazu, dass im überwiegenden Teil des Ortes Telefone mit maximaler Leistung senden müssen,
- die mittleren Sendeleistungen beim Telefonieren aus Autos liegen bei 30-80% der maximalen Sendeleistungen.

Im Rahmen einer Validierungsstudie der „Interphone-Studie“ nutzten 50 freiwillige Probanden über einen Monat ein so genanntes SMP („Software-modified phone“), welches die Leistungsregelung während eines Gesprächs aufzeichnet. Bei insgesamt 1757 aufgezeichneten Gesprächen fanden 31% durchgängig auf höchster Leistungsstufe statt, d. h. ohne dass eine Poweradaption aktiv wurde [Ber 05b].

Obige Beispiele zeigen, dass die mittleren Sendeleistungen von Mobiltelefonen bei weitem nicht die theoretischen Minimalwerte erreichen, sondern dass relativ häufig mit höheren Expositionen des Mobiltelefon-Nutzers gerechnet werden muss, die durchaus im Bereich von 25-75% der maximalen Sendeleistung liegen können. Nur in Bereichen mit günstiger Versorgung bei Telefongesprächen eines ortsfesten oder sich nur wenig bewegenden Teilnehmers können sich Sendeleistungen im Minimalbereich des Telefons einstellen.

Im Vergleich zu den Expositionen des Mobiltelefon-Nutzers sind die Hintergrundexpositionen durch Mobilfunk-Basisstationen oder UKW/TV-Sender offensichtlich nur von geringer Bedeutung [Wus 05b]. Die Grenzwertausschöpfung bezüglich der Leistungsflussdichte in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen (GSM + UMTS) liegt im Mittel unter 1‰ und nur in seltenen Fällen über 1%. In Wohnbereichen in der Nähe leistungsstarker UKW/TV-Sender liegt die Grenzwertausschöpfung unter 10%.

## **6.2 Grenzwerte für Mobilfunk-Basisstationen und handgehaltene Mobiltelefone**

Die international akzeptierten Begrenzungen der Exposition durch elektromagnetische Felder [ICN 98; EU 99] unterscheiden zwischen einer Exposition des ganzen Körpers durch Antennen im Fernfeld (z. B. Mobilfunk-Basisstationen oder TV-/Rundfunksender) und der Exposition durch körpernahe Antennen, wie beispielsweise durch handgehaltene Mobiltelefone („Handy“). Die weitaus stärksten Expositionen durch Felder des Mobilfunks werden durch Mobiltelefone verursacht. Ein Teil der von der Antenne abgestrahlten Hochfrequenzenergie wird im Körpergewebe absorbiert und in Wärme umgewandelt. Dieser im Kopfbereich absorbierte Energieanteil muss jedoch so begrenzt werden, dass lokale Übererwärmungen und damit Gesundheitsbeeinträchtigungen vermieden werden. Das Maß für die physikalische Wechselwirkung mit biologischem Gewebe ist die spezifische Absorptionsrate SAR, eine Messgröße, welche die absorbierte Energie pro Zeiteinheit (Leistung) bezogen auf eine definierte Körpermasse (W/kg) angibt. Die international akzeptierten Personenschutzwerte begrenzen primär die SAR und damit die Stärke der Wechselwirkung und werden Basisgrenzwerte genannt.

Kriterium für die Begrenzung der Ganzkörperexposition ist die Begrenzung der Erhöhung der Körperkerntemperatur auf  $1^{\circ}\text{C}$ , was in etwa dem physiologischen Temperaturschwankungsbereich beim Menschen entspricht. Alle gesicherten biologischen Effekte und Gesundheitsbeeinträchtigungen bei Exposition im Hochfrequenzbereich sind konsistent mit Temperaturerhöhungen der Körperkerntemperatur um mehr als  $1^{\circ}\text{C}$ . Ausgehend von dem SAR-Wert von  $4\text{ W/kg}$ , der innerhalb von 30 min zu einer Erhöhung der Körpertemperatur von  $1^{\circ}\text{C}$  führt, wurde der Grenzwert für beruflich Exponierte um den Faktor 10 reduziert und auf  $0,4\text{ W/kg}$  festgelegt. Um Unterschiede in den Empfindlichkeiten zwischen Personen (z. B. Kinder, Kranke, Senioren) aufzufangen, wurde für die allgemeine Bevölkerung ein zusätzlicher Reduktionsfaktor von 5 eingeführt. Durch diese eingeführten Reduktionen werden auch evtl. bestehende Unterschiede der Exposition zwischen Kindern und Erwachsenen abgedeckt [Mat 05]. Der Basisgrenzwert von  $0,08\text{ W/kg}$ , gemittelt über den ganzen Körper und 6-Minutenintervalle, ist die Basis für die Genehmigungsverfahren von Mobilfunk-Basisstationen und anderer Sendeanlagen durch die zuständigen Behörden.

Die Mobiltelefone werden überwiegend in unmittelbarer Kopfnähe betrieben, wobei die Absorption der Hochfrequenzenergie sehr inhomogen ist und aufgrund der geringen Eindringtiefe nur in einem kleinen Teil des Kopfes erfolgt. Lokale Temperaturerhöhungen von 3 bis  $5^{\circ}\text{C}$  könnten zu Wärmeschäden führen. Die Augenlinse gilt wegen der eingeschränkten Wärmeabfuhrmöglichkeiten potentiell als besonders gefährdet. Abschätzungen der Temperaturerhöhung unter Berücksichtigung der Wärmeeigenschaften des Körpergewebes und der Wärmeableitung durch Wärmeleitung und Blutfluss ergeben, dass eine Temperaturerhöhung dann unter  $1^{\circ}\text{C}$  bleibt, wenn die Energieabsorption unter etwa  $100\text{ mW/10 g}$  bleibt. Mit einem Sicherheitsfaktor von 5 als Vorsichtsmaßnahme hat ICNIRP daraus den Basisgrenzwert von  $20\text{ mW/10 g}$ , entsprechend  $2\text{ W/kg}$ , abgeleitet [ICN 98]. Verschiedene aufwändige Modellrechnungen unter Berücksichtigung des Blutflusses haben einen Temperaturanstieg im Gehirn von  $0,05$  bis  $0,12^{\circ}\text{C}$  je  $\text{W/kg}$  gefunden [Van 99; NRP 04a]. Das heißt, dass bei Ausschöpfung des Grenzwertes von  $2\text{ W/kg}$  in  $10\text{ g}$  mit einer Temperaturerhöhung von etwa  $0,2^{\circ}\text{C}$  gerechnet werden muss.

Da eine direkte Messung der in den Kopf des Mobiltelefon-Nutzers eingekoppelten Energie und damit des SAR-Wertes nicht möglich ist, werden bei SAR-Messplätzen Schalenphantome mit der Form des menschlichen Kopfes verwendet, die mit einer gewebeäquivalenten Flüssigkeit gefüllt sind. Messungen an Mobiltelefonen zur Kontrolle der Einhaltung der zulässigen SAR-Werte werden in Europa nach dem Produktstandard DIN EN 50361 [DIN 03] durchgeführt.

Zur Frage, ob es Wirkungen weit unterhalb der Schwellenwerte für thermische Wirkungen gibt, hat die SSK 2001 Stellung genommen [SSK 01]. Gut untersucht ist das Hörphänomen als akusto-thermischer Effekt, das bei gepulster Strahlung leistungsstarker Radargeräte auftreten kann. Dieser Effekt erfordert die Erzeugung eines ausreichenden Temperaturgradienten und die Überschreitung eines Energieschwellenwertes innerhalb eines kurzen Pulses. Bei Feldern des Mobilfunks treten diese Reaktionen nicht auf, da die Schwellenwerte der Pulsenergien nicht erreicht werden.

Sorgfältige Analysen einer großen Zahl von Untersuchungen über biologische Reaktionen von amplitudenmodulierten Feldern (einschließlich der Signalformen, wie sie beim Mobilfunk verwendet werden), zeigen, dass die Effekte bei Exposition biologischer Systeme mit nichtthermisch wirkenden Feldern gering sind. Es gibt keine überzeugenden Belege für Gesundheitsbeeinträchtigungen durch die Exposition mit Hochfrequenzfeldern des Mobilfunks unterhalb der Grenzwerte. Dies ist in Übereinstimmung mit dem aktuellen Kenntnisstand über biophysikalische Wirkungsmechanismen, wonach für Frequenzen des Mobilfunks die

Schwellenwerte für die bekannten nichtthermischen Mechanismen weit oberhalb der Schwellenwerte für thermische Wirkungen liegen [SSK 01]. Daher sind auch für Frequenzen des Mobilfunks thermische Effekte als gesundheitlich relevante Reaktionen mit den geringsten Schwellenwerten für die Grenzwertfindung entscheidend.

### 6.3 Verringerung der Exposition des Mobiltelefon-Nutzers

Die geltenden Grenzwerte werden durch die Anwendung technischer Vorschriften für Mobiltelefone eingehalten. Trotzdem sollten vermeidbare Expositionen auf ein Minimum reduziert werden, zumal bisherige Untersuchungen zeigen, dass die Exposition des Mobiltelefon-Nutzers unter realen Bedingungen relativ hoch sein kann.

Die Feldexposition kann vor allem durch konstruktive Maßnahmen an Mobiltelefonen (einschließlich Antenne), sowie durch Verhalten des Mobiltelefon-Nutzers verringert werden.

Mit konstruktiven Maßnahmen einer Antennenoptimierung durch den Hersteller lässt sich die maximal mögliche Exposition reduzieren.

Darüber hinaus kann auch der Mobiltelefon-Nutzer zur Expositionsreduzierung beitragen, z. B. durch folgende Maßnahmen:

- Standorte mit guten Empfangsbedingungen aussuchen. Gute Empfangsbedingungen korrespondieren mit guten Sendebedingungen. Auf entsprechende Displayanzeige achten.
- Auswahl eines Mobiltelefons mit geringem SAR-Wert (vgl. Liste des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS)).
- Mobiltelefon erst nach dem Verbindungsaufbau und der Gesprächsannahme an das Ohr halten und die Gesprächszeiten kurz halten.
- Antenne nicht zu stark ans Ohr pressen. Zur Vergrößerung des Abstandes Antenne-Kopf kann auch ein sog. Headset benutzt werden.
- In Fahrzeugen Außenantennen benutzen. In Zügen sog. Repeater-Wagen für ein Gespräch aufsuchen, wo die Exposition geringer ist.

Auch wenn nach derzeitigem wissenschaftlichem Kenntnisstand keine höhere Empfindlichkeit von Kindern und Jugendlichen gegenüber Hochfrequenzfeldern festzustellen ist, ist es u. a. wegen der längeren Lebenszeitexposition und des zu erwartenden Anstiegs der Nutzung von Mobilfunkfeldern insbesondere für diese Personengruppe ratsam, die o. a. Empfehlungen zur Verringerung der Exposition zu beachten. Den Eltern und der Schule kommt hier eine erhöhte Verantwortung zu.

Hinzuweisen ist, dass auch zweifelhafte Produkte zur Expositionsverringering angeboten werden [Gol 04]. Beispiele sind „Feldsammler“, die zur Anbringung in Wohnräumen und Innenräumen von Kraftfahrzeugen vorgesehen sind und die Mobilfunkstrahlung „einsammeln“ und damit „unschädlich“ machen sollen. Ein anderes Beispiel sind Aufkleber z.B. aus Kunststoff- oder Aluminiumfolie, so genannte „Chips“, die auf das Mobiltelefon geklebt werden und so das Abstrahlverhalten verändern sollen. Zur Erklärung der Wirkungsweise werden meist pseudowissenschaftliche Argumente vorgebracht, die an den Glauben des Käufers appellieren. Diese Produkte täuschen eine zusätzliche Sicherheit vor. Vergleichende Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Expositionsverringering mit solchen Produkten nicht erreicht wird [Gol 04].

## 7 Diskussion

Die Frage einer besonderen Gefährdung von Kindern durch Mobilfunkfelder, besonders im Zusammenhang mit der steigenden Nutzung von handgehaltenen Apparaten („Handys“), spielt in der öffentlichen Diskussion zurzeit eine große Rolle. Dies schlägt sich vor allem auch in den Medien nieder. Häufig wird dabei die besondere Empfindlichkeit des kindlichen Organismus betont und auch auf Warnungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) verwiesen. In Reaktion auf diese Publikationen hat die WHO durch ein „Clarification Statement“ ([http://www.who.int/peh-emf/meetings/ottawa\\_june05/en/print.html](http://www.who.int/peh-emf/meetings/ottawa_june05/en/print.html)) in eindeutiger Weise klargestellt:

*Some recent media reports suggest that WHO's International EMF Project has changed its recommendation regarding precautionary measures for children using mobile phones. This followed a meeting in Ottawa, Canada in July 2005 to discuss the use of precautionary measures in areas of public health where there is scientific uncertainty.*

*To date, all expert reviews on the health effects of exposure to RF fields have reached the same conclusion: There have been no adverse health consequences established from exposure to RF fields at levels below the international guidelines on exposure limits published by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).*

Eine ausführlichere Darstellung der auf der angesprochenen Tagung diskutierten Themen, welche die Basis dieser Stellungnahme bildet, findet man in einem Bericht von Kheifets et al. [Khe 05].

Es ist außerordentlich wichtig, die Frage einer möglichen gesundheitlichen Gefährdung von Kindern aufzugreifen und separat von anderen Fragestellungen auf diesem Forschungsgebiet zu diskutieren. Die in diesem Zusammenhang immer wieder geäußerten Befürchtungen sind verständlich, aber nach derzeitigem wissenschaftlichem Kenntnisstand nicht begründet. Es ist in diesem Zusammenhang auch wichtig, darauf hinzuweisen, dass die international empfohlenen Grenzwerte der SAR weit unterhalb der Schwelle für thermische Effekte liegen. Sie beinhalten somit eine beträchtliche „Sicherheitsreserve“, welche mögliche individuelle Empfindlichkeitsunterschiede abdecken sollten.

Auf der Basis der in den vorhergehenden Kapiteln dargestellten Übersichten, welche auf der neuesten Literatur beruhen, muss der Schluss gezogen werden, dass keine Beweise für eine karzinogene Wirkung von Mobilfunkfeldern vorliegen. Im Gegensatz zu der Lage bei ionisierenden Strahlen, auf deren belegtes krebsinduzierendes Potential per Analogieschluss häufig zurückgegriffen wird, gibt es auch kein naturwissenschaftlich plausibles Wirkungsmodell. In diesem Zusammenhang muss auch eine relativ große Anzahl von Untersuchungen – meist in-vitro – zum „genotoxischen“ Einfluss von Mobilfunkfeldern gesehen werden. In zwei neueren Arbeiten sind sie einer kritischen Analyse unterzogen worden (Meltz [Mel 03], Vijayalaxmi and Obe [Vij 04]). Unter Hinweis auf eine Vielzahl methodischer Schwächen kommen beide zu dem Schluss, dass eine genotoxische Wirkung von Mobilfunkfeldern nicht nachgewiesen werden kann. Eine neuere umfangreiche Studie („REFLEX-Studie“) ist bisher nur zu einem Teil in wissenschaftlichen Zeitschriften, die einer Begutachtung unterliegen („peer reviewed journals“), veröffentlicht, steht aber im Internet zur Verfügung ([www.verumfoundation.de/cgi-bin/content.cgi?id=euprojekte01](http://www.verumfoundation.de/cgi-bin/content.cgi?id=euprojekte01)). Eine kritische Wertung ist unter solchen Bedingungen nur eingeschränkt möglich. Allerdings ist deutlich, dass auch hier die experi-

mentellen Verfahren einer sorgfältigen Überprüfung bedürfen. Auf jeden Fall kann diese Studie nicht als hinlänglicher Beweis einer genotoxischen Wirkung von Hochfrequenzstrahlung herangezogen werden. Sie versäumt es, auf die Ergebnisse anderer Autoren einzugehen, und versucht nicht, die Gründe für widersprüchliche Resultate im eigenen Konsortium zusammenfassend zu erklären. Die SSK hat in ihrer 213. Sitzung am 05./06. Dezember 2006 eine eingehende Stellungnahme zur genotoxischen Wirkung von HF-Feldern verabschiedet [SSK 06].

Ein Einfluss von Mobilfunkfeldern auf Vorgänge im Zentralnervensystem ist physikalisch-physiologisch nicht unplausibel. Eine Sichtung der Literatur ergibt allerdings, dass neuronale oder kognitive Wirkungen bei Feldstärken unterhalb der bestehenden Grenzwerte nicht eindeutig festzustellen sind. In den wenigen Versuchen, Ergebnisse durch Replikationsstudien zu verifizieren, wurden z. T. diametral widersprechende Resultate gefunden. Man muss auch hier feststellen, dass für das Vorliegen neuronaler und/oder kognitiver Wirkungen im nichtthermischen Bereich der wissenschaftliche Nachweis fehlt. Darüber hinaus ist anzumerken, dass selbst dann, wenn solche Effekte in zukünftigen Studien nachgewiesen werden sollten, sie nicht unbedingt als gesundheitsschädlich anzusehen sein müssten, wenn sie z. B. an Stärke und Zahl nicht die Irritationen des Alltagslebens überschritten.

Die bisher gemachten Feststellungen beziehen sich nahezu ausschließlich auf Erwachsene, sofern nicht auch Tierexperimente berücksichtigt wurden. Dies ist darin begründet, dass mit zwei Ausnahmen (kognitive Wirkungen, s. o.) alle Erhebungen an Erwachsenen durchgeführt wurden. Es gibt also keine Arbeiten, welche die postulierte höhere Empfindlichkeit von Kindern und Heranwachsenden gegenüber möglichen Wirkungen von Mobilfunkfeldern belegen.

Es wäre durchaus denkbar, dass die Schwellen für Gesundheitseffekte bei Kindern niedriger liegen. Allerdings müssten die Unterschiede sehr beträchtlich sein, um Änderungen der Grenzwerte begründen zu können. Diese verfügen über einen großen Sicherheitsspielraum [ICN 98]. Hierauf hat auch die ICNIRP im Zusammenhang mit den aktuellen Diskussionen erneut hingewiesen [Vec 05].

Da biologische Hinweise auf unterschiedliche Reaktionen auf Mobilfunkfelder zwischen kindlichem und erwachsenem Organismus fehlen, werden nun vor allem Unterschiede in Bezug auf das Absorptionsverhalten im Kopf diskutiert. Es ist oben bereits dargelegt worden, dass die meisten Modellrechnungen und anatomische Betrachtungen ergeben, dass die Unterschiede nur relativ gering sind und drastische Sonderregelungen in Bezug auf die Mobilfunknutzung durch Kinder nicht rechtfertigen können. Dabei muss auch bedacht werden, dass es in der realen Welt weder bei Erwachsenen noch bei Kindern „Normköpfe“ gibt und daher mit einer gewissen Bandbreite der Absorptionseigenschaften gerechnet werden muss. Die Variabilität der menschlichen Anatomie ist auch bei Kinderköpfen nicht zu vernachlässigen.

Nach eingehender Prüfung aller wissenschaftlichen Voraussetzungen muss gefolgert werden, dass besondere Schutzbestimmungen in Bezug auf Mobilfunkwirkungen bei Kindern nicht begründet sind.

Diese Feststellung schließt natürlich nicht aus, dass weitere Entwicklungen und neuere Erhebungen sehr sorgfältig verfolgt werden müssen. Es ist auf eine Reihe internationaler Studien und nationaler Mobilfunk-Forschungsprogramme hinzuweisen, deren Ergebnisse erst in den nächsten 2-3 Jahren vorliegen werden. Die Sorgfaltspflicht gilt aber auch für evtl. neu konzipierte Studien. Es muss durch stringente Kontrollen sichergestellt werden, dass sie anerkannten wissenschaftlichen Prinzipien und den Leitlinien guter experimenteller bzw. epidemiolo-



gischer Praxis genügen. Im derzeitigen Stadium der Forschung können Kasuistiken nicht mehr als Hinweise auf mögliche Effekte akzeptiert werden.

In der Essenz des Gesagten stimmen alle wichtigen internationalen Gremien überein. In der allgemeinen Diskussion wird vor allem der britische „Stewart-Report“ [Ste 00] herausgehoben, weil in ihm das Vorsorgeprinzip, besonders für Kinder, betont wird. Aus diesem Grunde sei aus seinem Abschnitt „Summary and Recommendations“ zitiert:

*The balance of evidence to date suggests that exposures to RF radiation below NRPB and ICNIRP guidelines do not cause adverse health effects to the general population (...).*

*There is now scientific evidence, however, which suggests that there may be biological effects occurring at exposures below these guidelines (...). This does not necessarily mean that these effects lead to disease or injury, but it is potentially important information...*

und in Bezug auf Kinder:

*If there are currently unrecognised adverse health effects from the use of mobile phones, children may be more vulnerable because of their developing nervous system, the greater absorption of energy in the tissues of the head, and a longer lifetime of exposure.*

Eine nähere Überprüfung der im Report angeführten Untersuchungen ergibt, dass auch hier keine Beweise für nichtthermische Wirkungen zu finden sind. Die „wissenschaftliche Evidenz“ beschränkt sich auf wenige nicht bestätigte Arbeiten. Auch andere nationale und internationale Gremien kommen generell zu dem Schluss, dass die gegenwärtige wissenschaftliche Basis nicht hinreichend ist, um eine besondere Empfindlichkeit von Kindern zu begründen, so z. B. AGNIR (Independent advisory group on non-ionising radiation) [NRP 03], NRPB [NRP 04b], Health Council [TNO 02], SSI [SSI 03, SSI 04, SSI 05]. Eine eingehende Diskussion der Stellungnahmen verschiedenster nationaler und internationaler Gremien, besonders auch unter dem Gesichtspunkt des „Vorsorgeprinzips“, wurde von Chau und Foster [Cha 05] vorgelegt. Sie kommen zu dem klaren Schluss, dass sich besondere Vorsorgemaßnahmen für Kinder und Jugendliche aus naturwissenschaftlich-technischen Forschungsergebnissen nicht begründen lassen.

## Literatur

- [Ahl 04] Ahlbom, A., Green, A., Kheifets, L., Savitz, D., Swerdlow, A.: ICNIRP (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection) Standing Committee on Epidemiology, Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure, *Environ Health Perspect* 112, S. 1741-1754 (2004)
- [And 03] Anderson, V.: Comparisons of peak SAR levels in concentric sphere head models of children and adults for irradiation by a dipole at 900 MHz, *Phys. Med. Biol.* 48, S. 3263-3275 (2003)
- [Auv 02] Auvinen, A., Hietanen, M., Luukkonen, R., Koskela, R.S.: Brain tumors and salivary gland cancers among cellular telephone users, *Epidemiology* 13, S. 356-359 (2002)
- [Bac 90] Bachmann, K.-D., Ewerbeck, H., Kleinhauer, E., Rossi, E. und Stalder, G. (Hrsg.): *Pädiatrie in Praxis und Klinik*, Gustav Fischer Verlag Stuttgart, Georg Thieme Verlag Stuttgart (1990)
- [Ber 05a] Berg, G.: Derzeitiger Wissensstand zur Risikoabschätzung des Mobilfunks in „Abschätzung, Bewertung und Management von Risiken“, *Veröffentlichungen der SSK Band 56*, Elsevier Urban&Fischer, S. 117-134 (2005)
- [Ber 05b] Berg, G., Schüz, J., Samkange-Zeeb, F., Blettner, M.: Assessment of radiofrequency exposure from cellular telephone daily use in an epidemiological study, German Validation study of the international case-control study of cancers of the brain – INTERPHONE-study, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 15, S. 217-224 (2005)
- [Bit 05] Bit-Babik, G., Guy, A.W., Chou, C.K., Faraone, A., Kanda, M., Gessner, A., Wang, J., Fujiwara, O.: Simulation of Exposure and SAR Estimation for Adult and Child Heads Exposed to Radiofrequency Energy from Portable Communication Devices, *Radiation Research* 163 (2005) (in press)
- [Böh 04] Böhler, E., Schüz, J.: Cellular telephone use among primary school children in Germany, *Eur J Epidemiol* 19, S. 1043-1050 (2004)
- [Car 99] Cardis, E., Kilkenny, M.: International case-control study of adult brain, head and neck tumours: results of the feasibility study, *Radiat Protect Dosimetry* 83, S. 179-183 (1999)
- [Cha 05] Chau, T. T., Foster, K. R.: Should children use mobile phones?, *IEEE microwave magazine* 6, 18-30 (2005)
- [Chr 04] Christensen, H.C., Schüz, J., Kosteljanetz M. et al.: Cellular telephone use and risk of acoustic neuroma, *Am J Epidemiol* 159, S. 277-283 (2004)
- [Chr 05] Christensen, H.C., Schüz, J., Kosteljanetz, M., Poulsen, H.S., Boice, J.D. Jr, McLaughlin, J.K., Johansen, C.: Cellular telephones and risk for brain tumors: a population-based, incident case-control study, *Neurology* 64, S. 1189-1195 (2005)

- [Cht 05a] Christ, A., Chavannes, N., Nikoloski, N., Gerber, H.-U., Poković, K., Kuster, N.: A numerical and experimental comparison of human head phantoms for compliance testing of mobile telephone equipment, *Bioelectromagnetics* 26 (2), S. 125-137 (2005)
- [Cht 05b] Christ, A., Kuster, N.: Differences in RF Energy Absorption in the Heads of Adults and Children, *Bioelectromagnetics* 26, S7, S. 31-44 (2005)
- [Cos 05] Cosquer, B., Vasconcelos, A.P., Frohlich, J., Cassel, J.C.: Blood-brain barrier and electromagnetic fields: effects of scopolamine methylbromide on working memory after whole-body exposure to 2.45 GHz microwaves in rats, *Behav Brain Res.* 161(2), S. 229-237 (2005), Epub 2005 Mar 21
- [Cur 05] Curcio, G., Ferrara, M., Moroni, F., D'Inzeo, G., Bertini, M., De Gennaro, L.: Is the brain influenced by a phone call? An EEG study of resting wakefulness, *Neurosci Res.* Aug 12 (2005)
- [DIN 03] DIN EN 50361 (VDE 0848 Teil 361): Grundnorm zur Messung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) in Bezug auf die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen (2003)
- [Dol 97] Dolk, H., Elliott, P., Shaddick, G. et al.: Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. All high power transmitters. *Am J Epidemiol* 145, S. 10-17 (1997)
- [Eli 06] Eliyahu, I., Luria, R., Hareuveny, R., Margalioth, M., Meiran, N., Shani, G.: Effects of Radiofrequency Radiation Emitted By Cellular Telephones on the Cognitive Functions of Humans, *Bioelectromagnetics* 27:119-126 (2006)
- [EU 99] EU-Empfehlung (1999/519/EG) des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)
- [Fey 05] Feychting, M.: Non-cancer EMF effects related to children, *Bioelectromagnetics* 26, S7, S. 69-74 (2005)
- [Fra 05] Franke, H., Streckert, J., Bitz, A., Goeke, J., Hansen, V., Ringelstein, E.B., Nattkamper, H., Galla, H.J., Stogbauer, F.: Effects of Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) electromagnetic fields on the blood-brain barrier in vitro, *Radiat Res.* 164, S. 258-269 (2005)
- [Gan 96] Gandhi, O.P., Lazzi, G., Furse, C.: Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz, *IEEE Trans Microwave Theory and Techniques* 44, S. 1884-1897 (1996)
- [Gan 02] Gandhi, O.P. and Kang, G.: Some present problems and a proposed experimental phantom for SAR compliance testing of cellular telephones at 835 and 1900 MHz, *Phys. Med. Biol.* 47, S. 1501-1518 (2002)
- [Gol 04] Goltz, S., Eggert, S.: Reduzierung der Exposition von Mobiltelefon-Nutzern. *FGF-NEWSLetter* 4/2004, S. 46-53 (2004)

- [Haa 03] Haarala, C., Bjornberg, L., Ek, M., Laine, M., Revonsuo, A., Koivisto, M., Hamalainen, H.: Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function, A replication study, *Bioelectromagnetics* 24(4), S. 283-288 (2003)
- [Haa 04] Haarala, C., Ek, M., Bjornberg, L., Laine, M., Revonsuo, A., Koivisto, M., Hamalainen, H.: 902 MHz mobile phone does not affect short term memory in humans, *Bioelectromagnetics* 25(6), S. 452-456 (2004)
- [Haa 05] Haarala, C., Bergman, M., Laine, M., Revonsuo, A., Koivisto, M., Hamalainen, H.: Electromagnetic field emitted by 902 MHz mobile phones shows no effects on children's cognitive function, *Bioelectromagnetics* 26, S7, S. 144-150 (2005)
- [Had 05] Hadjem, A., Lautru, D., Dale, C., Wong, M.F. et al.: Study of specific absorption rate (SAR) induced in two child head models and in adult heads using mobile phones, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 53, S. 2289-2337 (2005)
- [Ham 06] Hamblin, D. L., Croft, R.J., Wood, A.W., Stough, C., Spong, J.: The Sensitivity of Human Event-Related Potentials and Reaction Time to Mobile Phone Emitted Electromagnetic Fields. *Bioelectromagnetics* 27 (2006) (Prepublication online)
- [Har 99] Hardell, L., Nasman, A., Pahlson, A., Hallquist, A., Mild, K.H.: Use of cellular telephones and the risk for brain tumours. A case-control study. *Int J Oncol* 15, S. 113-116 (1999)
- [Har 05] Hardell, L., Carlberg, M., Mild, K.H.: Use of cellular telephones and brain tumor risk in rural and urban areas. *Occup Environ Med* 62, S. 390-394 (2005)
- [Har 06a] Hardell, L., Carlberg, M., Hansson Mild, K.: Pooled analysis of two case-control studies on the use of cellular and cordless telephones and the risk of benign brain tumours diagnosed during 1997-2003, *Int J Oncol* 28, S. 509-518 (2006)
- [Har 06b] Hardell, L., Carlberg, M., Hansson Mild, K.: 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* [Epub ahead of print] (2006)
- [Hen 00] Hentschel, K., Neuschulz, H., Kaul, G., Ruppe, I., Eggert, S., Enderlein, G., Keitel, J.: Einfluss elektromagnetischer Felder von GSM-Mobiltelefonen auf Informationsaufnahme und -verarbeitung beim Menschen. Schriftenreihe Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fb 905, Dortmund/Berlin 2000
- [Hep 06] Hepworth, S.J., Schoemaker, M.J., Muir, K.R., Swerdlow, A.J., van Tongeren, M.J., McKinney, P.A.: Mobile phone use and risk of glioma in adults: case-control study. *BMJ* 2006 Jan 20; [Epub reprint]
- [Hoc 96] Hocking, B., Gordon, J.R., Grain, H.L. et al.: Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med J Aust* 165, S. 601-605 (1996)

- [Hom 96] Hombach, V., Meier, K., Burkhardt, M., Kühn, E., Kuster, N.: The dependence of EM energy absorption upon human head modeling at 900 MHz, *IEEE Trans Microw Theory Tech* 44, S. 1865-1873 (1996)
- [Hos 03] Hossmann, K.A., Hermann, D.M.: Effects of electromagnetic radiation of mobile phones on the central nervous system, *Bioelectromagnetics* 24(1), S. 49-62 (2003)
- [ICN 98] ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), *Health Physics* 74 (4), S. 494-522 (1998)
- [Inf 04] Infas GmbH: Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks, Abschlussbericht für das Bundesamt für Strahlenschutz (2004)
- [Ins 01] Inskip, P.D., Tarone, R.E., Hatch, E.E. et al.: Cellular-telephone use and brain tumors. *N Engl J Med* 344, S. 79-86 (2001)
- [Joh 01] Johansen, C., Boice, J.D., McLaughlin, J.K., Olsen, J.H.: Cellular telephones and cancer – a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst* 93, S. 203-207 (2001)
- [Kam 03] Kamarenko, A.V., Tan, U.: Effects of high-frequency electromagnetic fields on human EEG: a brain mapping study, *Int J Neurosci* 113(7), S. 1007-1019 (2003)
- [Kes 05] Keshvari, J., Lang, S.: Comparison of radio frequency energy absorption in ear and eye region and adults at 900, 1800 and 2450 MHz, *Phys. Med. Biol.* 50, S. 4355-4369 (2005)
- [Khe 05] Kheifets, L., Repacholi, M., Saunders, R., van Deventer, E.: The sensitivity of children to electromagnetic fields *Pediatrics* 116, S. 303-313 (2005)
- [Koe 95] Koenig, W. J., Donovan, J. M. und Pensler, J. M.: Cranial bone grafting in children, *Plast Reconstr Surg* 95 (1), S. 1-4 (1995)
- [Kra 04] Krause, C.M., Haarala, C., Sillanmaki, L., Koivisto, M., Alanko, K., Revonsuo, A., Laine, M., Hamalainen, H.: Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during an auditory memory task: a double blind replication study. *Bioelectromagnetics* 25(1), S. 33-40 (2004)
- [Kur 05] Kuribayashi, M., Wang, J., Fujiwara, O., Doi, Y., Nabae, K., Tamano, S., Ogiso, T., Asamoto, M., Shirai, T.: Lack of effects of 1439 MHz electromagnetic near field exposure on the blood-brain barrier in immature and young rats, *Bioelectromagnetics* 26, S. 578-588 (2005)
- [Len 03] Lentze, M. J., Schaub, J., Schulte F. J. und Spranger J. (Hrsg.): Pädiatrie, Springer Verlag, 2. Auflage (2003)
- [Lön 04] Lönn, S., Ahlbom, A., Hall, P., Feychting, M.: Mobile phone use and the risk of acoustic neuroma, *Epidemiology* 15, S. 653-659 (2004)

- [Lön 05] Lönn, S., Ahlbom, A., Hall, P., Feychting, M.: Long-term mobile phone use and brain tumor risk, *Am J Epidemiol* 161, S. 526-535 (2005)
- [Mat 05] Matthes, R.: Ableitung von Grenzwerten für nichtionisierende Strahlung in „Abschätzung, Bewertung und Management von Risiken“, Veröffentlichungen der SSK, Band 56, Elsevier Urban & Fischer, S. 81-116 (2005)
- [McK 98] McKenzie, D.R., Yin, Y., Morrell, S.: Childhood incidence of acute lymphoblastic leukaemia and exposure to broadcast radiation in Sydney-a second look, *Aust. N.Z.J. Public Health*; 22, S. 360-367 (1998)
- [Mei 97] Meier, K., Kästle, R., Hombach, V., Tay, R., Kuster, N.: The dependence of EM energy absorption upon human head modeling at 1800 MHz, *IEEE Trans Microwave Theory and Techniques* 45, S. 2058-2062 (1997)
- [Mel 03] Meltz, M.: Radiofrequency Exposure and Mammalian Cell Toxicity, Genotoxicity, and Transformation, *Bioelectromagnetics* 24, S6, S 196-213 (2003)
- [Mic 02] Michelozzi, P., Capon, A., Kirchmayer, U. et al.: Adult and childhood leukemia near a high-power radio station in Rome, Italy. *Am J Epidemiol* 155, S. 1096-103 (2002)
- [Mpf 02] Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (Hrsg.): JIM-Studie 2002 Jugend, Information, (Multi-) Media, Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland, [[www.mpfs.de/studien/jim/JIM2002.pdf](http://www.mpfs.de/studien/jim/JIM2002.pdf)] (2002)
- [Mus 00] Muscat, J.E., Malkin, M.G., Thompson, S. et al.: Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA* 284, S. 3001-3307 (2000)
- [Mus 02] Muscat, J.E., Malkin, M.G., Shore, R.E. et al.: Handheld cellular telephones and risk of acoustic neuroma, *Neurology* 58, S. 1304-1306 (2002)
- [NRP 03] Documents of the NRPB: Independent Advisory Group on Non-Ionising Radiation (AGNIR): Health effects from radiofrequency electromagnetic fields, Vol.14, No. 2. 177 (2003)
- [NRP 04a] Documents of the NRPB: Review of the Scientific Evidence for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0-300 GHz), Vol.15, No. 3 (2004)
- [NRP 04b] Documents of the NRPB: Mobile Phones and Health 2004, Report by the Board of NRPB, Vol. 15, No. 5 (2004)
- [Pre 05] Preece, A.W., Goodfellow, S., Wright, M.G., Butler, S.R., Dunn, E.J., Johnson, Y., Manktelow, T.C., Wesnes, K.: Effect of 902 MHz mobile phone transmission on cognitive function in children, *Bioelectromagnetics* 26, S7, S. 138-143 (2005)
- [Rus 06] Russo, R., Fox, E., Cinel, C., Boldini, A., Defeyter, M. A., Mirshekar-Syahkal, D., Mehta, A.: Does Acute Exposure to Mobile Phones Affect Human Attention? *Bioelectromagnetics* 27 (2006) (Prepublication online)

- [Sal 03] Salford, L.G., Brun, A.E., Eberhardt, J.L., Malmgren, L., Persson, B.R.: Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environ Health Perspect* 111(7), S. 881-883 (2003)
- [Sch 98] Schönborn, F., Burkhardt, M., Kuster, N.: Differences in Energy Absorption Between Heads of Adults and Children in the Near Field of Sources, *Health Physics* 74(2), S. 160-168 (1998)
- [Sei 00] Seidenari, S., Giusti, G., Bertoni, L., Magnoni, C. und Pellacani, G.: Thickness and echogenicity of the skin in children as assessed by 20-MHz ultrasound, *Dermatology* 201, S. 218-222 (2000)
- [Shü 04] Schüz, J.: Elektromagnetische Felder: Verbreitung, biologische Wirkungen und mögliche Assoziationen mit Erkrankungsrisiken, *Internist Prax*, 44, S. 439-62 (2004)
- [Shü 05] Schüz J.: Mobile phone use and exposures in children, *Bioelectromagnetics* 26, S7, S. 45-50 (2005)
- [Shü 06] Schüz, J., Böhler, E., Berg, G., Schlehofer, B., Hettinger, I., Schlaefer, K., Wahrendorf, J., Kunna-Grass, K., Blettner, M.: Cellular phones, cordless phones, and the risk of glioma and meningioma (Interphone study group, Germany). *Am J Epidemiol* 2006 Jan 27; [Epub reprint]
- [Soe 05] Schoemaker, M.J. et al.: Mobile phone use and risk of acoustic neuroma, Results of the Interphone case-control study in five North European countries, *British Journal of Cancer* 1-7 (2005)
- [Som 04] Sommer, A.M., Streckert, J., Bitz, A.K., Hansen, V.W., Lerchl, A.: No effects of GSM-modulated 900 MHz electromagnetic fields on survival rate and spontaneous development of lymphoma in female AKR/J mice. *BMC Cancer* 4:77 (2004)
- [SSK 01] Strahlenschutzkommission: Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern, Empfehlung der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung, Berichte der SSK, Heft 29, Urban & Fischer, München, Jena (2001)
- [SSK 06] Strahlenschutzkommission: Wirkung hochfrequenter Felder auf das Genom: Genotoxizität und Genregulation, Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 213. Sitzung am 05./06.12.2006, ([www.ssk.de/werke/w2006.htm](http://www.ssk.de/werke/w2006.htm))
- [SSI 03] SSI 2003: Recent research on mobile telephony and cancer and other selected biological effects: First annual report from the SSI's independent expert group on electromagnetic fields Stockholm: Document Dnr 00/1854/02
- [SSI 04] SSI 2004: Recent research on mobile telephony and health risks. Second annual report from the SSI's independent expert group on electromagnetic fields Stockholm: Document 2004/3857-52 (2004)
- [SSI 05] SSI 2004: Recent research on EMF and Health Risks, Third annual report from SSI's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields (2005)

- [Sta 01] Stang, A., Anastassiou, G., Ahrens, W. et al.: The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. *Epidemiology* 12, S. 7-12 (2001)
- [Ste 00] Independent Expert Group on Mobile Phones: Report “Mobile Phones and Health”, [www.iegmp.org.uk](http://www.iegmp.org.uk) (2000)
- [TNO 02] Health Council of the Netherlands: Mobile telephones; an evaluation of health effects. The Hague: Health Council of the Netherlands, publication no. 2002/01E (2002)
- [TNO 04] Health Council of the Netherlands. TNO study on the effects of GSM and UMTS signals on well-being and cognition. The Hague: Health Council of the Netherlands, publication no. 2004/13E (2004)
- [Tsu 00] Tsurita, G., Nagawa, H., Ueno, S., Watanabe, S., Taki, M.: Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field, *Bioelectromagnetics* 21, S. 364-371 (2000)
- [Van 99] van Leeuwen, G.M.J. u. a.: Calculation of change in brain temperatures due to exposure to a mobile phone, *Phys. Med. Biol.* 44, S. 2367-2379 (1999)
- [Vec 05] Vecchia, P.: The approach of ICNIRP to protection of children, *Bioelectromagnetics* 26, S 157-160 (2005)
- [Vij 04] Vijayalaxmi, Obe, G.: Review Controversial Cytogenetic Observations in Mammalian Somatic Cells Exposed to Radiofrequency Radiation, *Radiation Research* 162, 481-496 (2004)
- [Wan 03] Wang, J., Fujiwara, O.: Comparison and Evaluation of Electromagnetic Absorption Characteristics in Realistic Human Head Models of Adult and Children for 900 MHz Mobile Telephones, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 51, No. 3 (2003)
- [Wia 05] Wiart, J., Hadjem, A., Gadi, N., Bloch, I., Wong, M.F., Pradier, A., Lautru, D., Hanna, V.F. and Dale, C.: Modeling of RF Head Exposure in Children, *Bioelectromagnetics* 26, S7, S 19-30 (2005)
- [Wil 06] Wilen, J., Johansson, A., Kalezic, N., Lyskov, E., Sandstroem, M.: Psychophysiological Tests and Provocation of Subjects With Mobile Phone Related Symptoms, *Bioelectromagnetics* 27 (2006) (Prepublication online)
- [Wus 05a] Wuschek, M.: Untersuchung der Leistungsregelung eines GSM-Mobiltelefons unter realen Bedingungen, *FGF-NEWSletter* 1/2005, S.40-50 (2005)
- [Wus 05b] Wuschek, M.: Typische Expositionswerte bei wichtigen Funkanwendungen, persönliche Mitteilung (2005)
- [WWF 02] Wireless World Forum (W2F): Mobile Youth 2002 - the definitive guide to developing mobile products for and marketing to young consumers [[www.w2f.com](http://www.w2f.com)] (2002)



- [Zwa 03] Zwamborn, A.P.M., Vossen, S.H.J.A., Leersum, B.V. et al.: Effects of global communication system radiofrequency fields on well being and cognitive functions of human subjects with and without subjective complaints. The Hague: TNO Physics and Electronics Lab. 2003, FEL-03-C148