

FGF-Themenanalyse:

Sind Mobilfunk und ein besonderes

Wissenschaftliche Fakten

Wilma Dubois, Frank Gollnick

Seit Ende der 1990er Jahre ist die Nutzung von Mobiltelefonen durch Kinder und Jugendliche sprunghaft angestiegen. Bedenken über mögliche gesundheitliche Folgen speziell für diese Bevölkerungsgruppen wurden erstmals weitreichend und international wahrgenommen, als im es im Jahr 2000 in Großbritannien zur Veröffentlichung des sogenannten „Stewart-Reports“ (Stewart et al. 2000) kam. In diesem Bericht der von der britischen Regierung beauftragten „Independent Expert Group on Mobile Phones“, IEGMP („Unabhängige Expertengruppe zu Mobiltelefonen“) wies man in Bezug auf Kinder darauf hin, dass

- das Nervensystem sich bei ihnen noch in der Entwicklung befindet und daher besonders empfindlich ist,
- sie im Kopfbereich aufgrund der Anatomie und Physiologie mehr Sendeleistung vom Telefon absorbieren als Erwachsene und
- sie im Laufe ihrer Lebenszeit einer längeren Exposition durch Mobilfunk ausgesetzt sind als heutige Erwachsene.

Daher wurde aus Vorsorgegründen empfohlen, bei Kindern die Nutzung von Mobiltelefonen auf die notwendigen Gespräche einzuschränken. Die genannten Inhalte des Stewart-Reports waren in der Folge die Basis für Empfehlungen vieler anderer Institutionen, wie zum Beispiel

dem Bundesamt für Strahlenschutz (http://www.bfs.de/de/elektro/hff/papiere.html/bfs_handy_kind.html) und der finnischen Strahlenschutzkommission (http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilyn_terveysvaikutukset/matkapuhelin_terveysvaikutus/en_GB/stukin_matkapuhelinkannanotto/). Der weiteren Empfehlung der IEGMP, auf speziell für Kinder zugeschnittene Werbung zu verzichten, folgte die Mobilfunkindustrie aus marktstrategischen Gründen kaum.

Seitdem hat sich eine Vielzahl wissenschaftlicher Studien mit möglichen Beeinträchtigungen durch elektromagnetische Felder (EMF) von Funkanwendungen speziell für Heranwachsende beschäftigt, oder solche Studien werden derzeit noch durchgeführt. Hierbei lassen sich unterscheiden:

- Dosimetrische Abschätzungen der Strahlenabsorption in verschiedenen Altersstufen unter Berücksichtigung der anatomischen und physiologischen Unterschiede zu Erwachsenen sowie dosimetrische Abschätzungen während der Fruchtentwicklung im Mutterleib,
- Laboruntersuchungen an Kindern und Jugendlichen,
- Epidemiologische Studien (Bevölkerungsstudien) mit speziellem Blick auf Kinder und Jugendliche sowie
- Tierstudien an jungen und ungeborenen Tieren.



andere Funkanwendungen Risiko für Kinder? über ein komplexes Thema

Aufgrund internationaler Forschungsempfehlungen konzentriert sich die EMF-Forschung seit Mitte der 2000er Jahre weltweit deutlich auf diese Themen. Vor 2000 wurden weniger Studien zu diesem Thema durchgeführt, seit etwa 1999 setzte aber eine wesentliche Zunahme ein. Die vorliegende Analyse bezieht sich ausdrücklich *nicht* auf andere, gesellschaftlich relevante Gefahren, die sich für Kinder und Jugendliche aus dem Mobilfunkgebrauch ergeben können, wie zum Beispiel „Kostenfalle Handy“ oder die neuerdings zunehmende Belästigung und Bedrohung durch Gewalt- oder pornografische Videoclips. Auch ist es



Art der Studie	Anzahl der Studien insgesamt	Anzahl Studien ohne Effekt	Anzahl Studien mit Effekt	Anzahl Studien mit unentschiedenem Effekt
Tierstudie	114 4 davon „keine Daten verfügbar“	42	53	14
Laboruntersuchung an Jugendlichen und Kindern	9	3	5	1
Epidemiologische Studie	23	5	11	7
Dosimetrische Messung/Berechnung	72	---	---	---
Review	41	---	---	---

nicht Thema dieser Analyse, die möglichen Gefahren dem zweifellos vorhandenen Nutzen, wie beispielsweise Sicherheitsaspekten bei Kindern, die alleine unterwegs sind, gegenüber zu stellen. Es soll ausschließlich die Summe aus der gesamten heute vorliegenden wissenschaftlichen Evidenz aus den oben genannten Forschungsbereichen wiedergegeben und einleitend analysiert werden. Andere für Kinder relevante Funkanwendungen werden, soweit wissenschaftliche Daten hierzu vorliegen, ebenfalls kurz im Hinblick auf Kinder behandelt. Hierzu zählen: Babyphones (Fernüberwachung des Kinderbetts), funkgesteuertes Spielzeug, Spielzeug-Sprechfunkgeräte, RFID-Systeme (zum Beispiel Warensicherungsanlagen in Geschäften), Funkübertragungssysteme im Haushalt (zum Beispiel Funkkopfhörer) oder funkgesteuerte Datenübertragungsanlagen (zum Beispiel WLAN).

Der vorliegende zusammenfassende Teil der Themenanalyse wird im Online-Teil der Ausgabe ergänzt durch:


- eine chronologisch aufgebaute Excel-Tabelle mit sämtlicher Literatur zum Thema und weiteren tabellarischen Übersichten,
- eine umfangreiche Materialsammlung mit tabellarischen Zusammenfassungen sowie Zitaten aus Reviews, Reports internationaler Institutionen und Medienveröffentlichungen zum Thema. Dazu die Liste der vollständigen Literaturzitate.

Studienaufkommen und Themenverteilung im zeitlichen Verlauf

Lange Zeit spielten lediglich embryonale oder juvenile Tiermodelle eine Rolle, die zunächst ausschließlich im Rahmen von *Laborstudien* zur möglichen Beeinflussung

oder Gefährdung jungen beziehungsweise ungeborenen Lebens durch Funkwellen untersucht wurden. Die ersten Experimente an Wachtelembryos und am Nachwuchs von Ratten und Mäusen fanden ab 1975 unter Anwendung der Mikrowellenofen-Frequenz (2,45 GHz) oder vereinzelt unter Anwendung ausgewählter Radarfrequenzen statt. Dies setzte sich bei vergleichsweise geringer Studienanzahl und wenig Variation bei den Studienobjekten (vereinzelt auch Hühnerembryonen, Primaten oder Fruchtfliegen) bis Mitte der 90er Jahre fort, wobei Testsignale für Radio- und TV-Frequenzen hinzukamen. Die Häufigkeit, mit der *Tierstudien* an Jungtieren oder mit Blick auf die Fortpflanzung durchgeführt wurden, blieb bis heute auf einem gleichmäßigen Niveau. Etwa 1997 stellte sich ein Wandel von den bereits genannten Testfrequenzen hin zu immer mehr Mobilfunkrelevanten Frequenzen in den Experimenten und sonstigen Untersuchungen ein.

Bereits ab 1985 wurde eine vergleichsweise große Anzahl an *Reviews* zu den vorhandenen Untersuchungen mit Blick auf junge, ungeborene oder schwangere Tiere verfasst. Ab 2003 verstärkte sich dieser Trend noch einmal deutlich, wobei mittlerweile der Mensch in den Untersuchungen – auch als experimentelles Untersuchungsobjekt – viel mehr in den Mittelpunkt rückte. *Dosimetrische* und *epidemiologische Studien* unter besonderer Berücksichtigung junger Individuen setzten etwa zeitgleich in den Jahren 1991 beziehungsweise 1992 ein, wobei zwei frühe Studien einer Arbeitsgruppe der Jahre 1984 und 1985 über dielektrische Eigenschaften der Gehirnschicht in sich entwickelnden Mäuse- und Kaninchengehirnen Ausnahmen darstellen. Wie oben bereits erwähnt, setzte um den Jahrtausendwechsel ein Schub mit vielen neuen Untersuchungen zum Thema ein, wobei die Dosimetrie einen deutlichen



Schwerpunkt bildet. Studien an Kindern im Labor sind erst ab 2001 mit einer Studie, dann vermehrt ab 2003 zu verzeichnen.

Insgesamt konnten über alle Jahre und alle Themenbereiche **17 Arbeitsgruppen** mit zusammen **114** Publikationen identifiziert werden, die sich in jeweils 3 oder mehr Publikationen dem Thema „Funkanwendungen und junge Individuen“ widmeten. Daneben **146** Einzelpublikationen (das heißt weniger als 3 pro Arbeitsgruppe), so dass sich bis zum **Stichtermine der vorliegenden Analyse (Mitte November 2009)** eine **Gesamtzahl von 259 Publikationen** zum hier behandelten Thema ergibt. Außerdem sind in der Excel-Tabelle im Online-Teil dieses Newsletters noch drei Publikationen zur Risikokommunikation und vier Studien mit sozialwissenschaftlichem Hintergrund mit Blick auf Kinder und Jugendliche aufgeführt. Berücksichtigt wurden in der vorliegenden Analyse meist nur die Kurzzusammenfassungen (Abstracts) der Publikationen und die inhaltlichen Extraktionen aus dem „EMF-Portal“ (www.emf-portal.de). Bewertende Kommentare sind den Abstracts der wissenschaftlichen Reviews und den entsprechenden Passagen aus den Reports internationaler Kommissionen und Institutionen zu entnehmen (siehe Materialsammlung in der online-Ausgabe dieses Newsletters).

Dosimetrische Untersuchungen

Bereits 1984 und 1985 wurden in zwei Studien an Mäuse- beziehungsweise Kaninchenhirnsubstanz die dielektrischen Eigenschaften bei Exposition mit 10 MHz- bis 5 GHz- beziehungsweise bis 18 GHz-Feldern mit dem Ziel bestimmt, frequenzabhängige Unterschiede im dielektrischen Verhalten von Wasser im sich entwickelnden Tiergehirn und deren Konsequenzen bei verschiedenem Alter (neugeborenen bis erwachsen) zu ermitteln (Thurai 1984, 1985). Es wurde eine deutliche Abnahme der Leitfähigkeit und der Dielektrizitätskonstante im Gehirngewebe im Verlauf des Alterns gemessen. Unter dem betrachteten Gesichtspunkt stellte man im Kaninchenhirn eine strukturelle Reife erst ab dem 23. Tag nach der Geburt fest. Schon zu der Zeit wusste man also, dass sich die dielektrischen Parameter im Gehirngewebe im Laufe der Jugend verändern.

Erst ab 1991 wurde dann der Faden dosimetrischer Studien zur frühen Entwicklung mit einer Untersuchung von Dimbylow und Gandhi (1991; sie publizierten zu der Zeit noch gemeinsam) wieder aufgegriffen, in der SAR-Kalkulationen

für ein heterogenes Kopfmodell des Menschen erstmals für das Erwachsenen- und Kindesalter verglichen wurden (0,6 – 3 GHz ebene Wellen, Exposition von vorne und von der Seite). Nunmehr stand der Mensch im Mittelpunkt der Betrachtungen, wobei für die Bestimmung von altersabhängigen Gewebeeigenschaften jedoch zwangsläufig immer wieder Tiermodelle herangezogen werden mussten. Heute stellen dosimetrische Untersuchungen, und hierbei vor allem die erwähnten numerisch kalkulierten Körpermodellierungen des Menschen, mit **72 publizierten Studien** nach den Tierexperimenten die zweitgrößte Gruppe in der vorliegenden Betrachtung dar. Die meisten dieser dosimetrischen Untersuchungen wurden ab dem Jahr 2000 publiziert. In der Phase ab 1991 konzentrierte man sich lange in verschiedenen Arbeitsgruppen auf Vergleiche unterschiedlicher Kopfmodelle und diskutierte deren Gültigkeit beziehungsweise Realitätsnähe. In drei Studien wurden klar höhere SAR-Werte für Kinderköpfe (beziehungsweise in der ersten dieser Studien für die Augen von Kindern bei Exposition aus kurzer Distanz) im Vergleich zu Erwachsenenköpfen postuliert (Dimbylow 1993, Gandhi 1996, Gandhi & Kang 2002), wobei in Gandhi 1996 zunächst fälschlicherweise die *relative* Eindringtiefe der Felder in Bezug auf den Kopfdurchmesser zugrunde gelegt wurde. Die falsche Darstellung von 1996 wurde durch andere Untersuchungen (auch aus derselben Arbeitsgruppe; Gandhi & Kang 2002), in denen die *absolute* Eindringtiefe betrachtet wurde, faktisch richtig gestellt (Review in Christ & Kuster 2005). Die sehr plakative, falsch skalierte Originalabbildung aus Gandhi 1996 wird aber bis heute immer wieder verbreitet und für mobilfunkkritische Argumentationen benutzt (Chou & Bit-Babik 2009).

Erst ab etwa 2005 hatte sich wissenschaftlich die Ansicht durchgesetzt, dass durch das überwiegend angewendete Verfahren des Herunterskalierens eines Erwachsenen-Kopfmodells auf die Dimensionen eines Kinderkopfes am Computer (wie zum Beispiel in den Arbeitsgruppen von Dimbylow, Lee und Gandhi) auch bei Berücksichtigung vieler Korrekturparameter keine ausreichend realistische Annäherung an die tatsächlichen Absorptionsraten bei der Benutzung von Mobiltelefonen durch Kinder erreicht werden kann. Bis 2005 wurden allerdings nur in drei Studien anatomisch korrekte Kinderkopfmodelle auf der Grundlage von MRT-Aufnahmen von Kindern verwendet (Schönborn 1998, Christ 2005, Kainz 2005; MRT = Magnetresonanztomografie). Viele messtechnische Unsicherheiten bei der Ausgangssituation für eine Simu-

lation, wie zum Beispiel die genaue Position des Mobiltelefons am Kopf, sorgen bis heute für unterschiedliche Resultate in verschiedenen Arbeitsgruppen und für entsprechende Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der maximalen SAR-Werte im Kinderkopf beim Telefonieren.

In diesem Zusammenhang wurden auch die unterschiedlichen Gewebeeigenschaften und Dimensionen der Ohrmuschel bei Kindern und Erwachsenen, deren Auswirkung auf die SAR-Werte im Kopf beim Telefonieren mit einem Handy am Ohr und die hieraus abgeleitete Berücksichtigung bei der Grenzwertsetzung (Betrachtung als „Extremität“, entsprechende Berücksichtigung in den Messvorschriften) in einer Reihe von Publikationen thematisiert (Review in Christ & Kuster 2005).

Realistische, das heißt anatomisch korrekte *Ganzkörpermodelle* von Kindern verschiedener Altersstufen zur SAR-Abschätzung, wofür als technische Grundlage immer Magnetresonanz- oder Computertomografieaufnahmen (MRI, CT) von Kindern gebraucht werden, wurden erst ab Mitte der 2000er Jahren entwickelt. Mittlerweile stehen ganze „virtuelle Familien“ von Körpermodellen aus verschiedenen Arbeitsgruppen weltweit zum Vergleich bereit (Kühn 2009). Durch den Fortschritt in der Computertechnik war es in der jüngsten Zeit (ab etwa 2004) auch möglich, die Körpermodelle nachträglich am Computer in verschiedene Körperhaltungen zu bringen, wodurch sich neue Betrachtungsmöglichkeiten in Bezug auf realistische Alltagssituationen und auf die maximal unter ungünstigsten Bedingungen auftretenden, lokalen SAR-Werte ergaben (Findlay 2005, Allen 2005). Dies wurde 2006 (Findlay & Dimbylow) und 2009 (Findlay et al.) erstmals auch auf Modelle von Kindern verschiedenen Alters angewendet, allerdings teilweise nur an herunterskalierten Modellen eines Erwachsenen. Für einen siebenjährigen Jungen zum Beispiel führt demnach im Modell eine stehende Haltung mit erhobenen Armen zu einer Erhöhung der Ganzkörper-SAR um 25 % gegenüber der Haltung mit gesenkten Armen. Im Sitzen wurden erniedrigte SAR-Werte gegenüber der stehenden Haltung nachgewiesen, beim Modell eines Einjährigen wiederum erhöhte Werte (Findlay & Dimbylow 2006, Findlay et al. 2009).


Heutiger Erkenntnisstand in der Dosimetrie

Hatte sich bis etwa 2005 die wissenschaftliche Auffassung durchgesetzt, dass die beobachteten SAR-Unterschiede zwischen Kinder- und Erwachsenen-Computermodellen

des Kopfes nicht größer als die Variationen zwischen unterschiedlichen Erwachsenen-Modellen seien (also Kinder in Bezug auf die Energieabsorption nicht besonders eingestuft werden müssen; Christ & Kuster 2005), nahm die Diskussion für Ganzkörper-Berechnungen aufgrund immer besser werdender Auflösung und Präzision beziehungsweise Realitätsnähe solcher Berechnungen, ausgelöst durch Publikationen von Wang et al. (2006) und Dimbylow & Bolch (2007), in dieser Hinsicht noch einmal eine Wendung. Ergänzt durch Studien von Conil et al. (2008), Nagao et al. (2008) und Kühn et al. (2009) wurde an neuen Kinder-Modellen gezeigt, dass in den Frequenzbereichen der Körperresonanz (um 100 MHz) und von 1 bis 4 GHz für Körpergrößen unter 1,3 m (entsprechend etwa acht- bis neunjährigen und jüngeren Kindern) die induzierten Ganzkörper-SAR-Werte unter ungünstigsten Bedingungen die empfohlenen Grenzwerte um bis zu 40 % überschreiten können. Dimbylow & Bolch (2007) empfahlen aufgrund ihrer Ergebnisse, die derzeitigen Grenzwerte oberhalb von 1 GHz für Kinder unter 9 Jahren um 10 - 20 % abzusenken. Zumindest für den Bereich von 1,5 bis 4 GHz gelten die derzeitigen Grenzwerte für Kinder des genannten Alters daher als nicht „conservative“ (das heißt „schonend“ beziehungsweise „konservativ abgeschätzt“; Kuster 2008). Aufgrund aktueller Berechnungen für das Gehirn wird derzeit unter gleichen Expositionsbedingungen bei Kindern von einem etwa doppelt so hohen, räumlich betrachteten Spitzen-Expositionswert im Vergleich zu Erwachsenen ausgegangen (circa 3 dB Unterschied). Dabei wird das Knochenmark im Kopfbereich etwa zehnfach stärker exponiert als das umgebende Gewebe. Laut Messungen im Hörkanal und an der Wange erwärmt sich ein Kinderkopf beim Mobiltelefonieren jedoch nicht stärker als der eines Erwachsenen. Insgesamt gesehen gelten Kinder demnach bis zum Alter von etwa 10 Jahren aus heutiger Sicht dosimetrisch betrachtet nicht mehr als vergleichbar mit Erwachsenen, sind also in diesem Altersbereich als empfindlicher zu betrachten (Kuster 2008). Zu beachten ist hierbei allerdings, dass bei der Festsetzung des Ganzkörper-SAR-Basisgrenzwerts für die allgemeine Bevölkerung ein Sicherheitsfaktor von 50 (= 5000 %) berücksichtigt wurde (ICNIRP Statement 2009). Erst ab der 50-fachen Überschreitung dieses Grenzwerts kann es also zu nachgewiesenen thermischen Feldeffekten im Körper kommen.

Sonstige Anwendungen und laufende Forschung

Andere Anwendungsbereiche als der Mobilfunk kamen in



neuerer Zeit durch Publikationen aus den Arbeitsgruppen von Gandhi und Gabriel ins Spiel: Elektronische Kaufhaus-Warensicherungsanlagen in Gandhi 2002, hier allerdings in Bezug auf 1 kHz- und 30 kHz-gepulste Magnetfelder, und Sprechfunkgeräte („Walkie-Talkies“) in Peyman 2009. Während Gandhi 5- und 10-jährige Kinder vor den Anlagen aufgrund ihrer Körpergröße im Vergleich zu Erwachsenen erhöhten Feldstärken im Kopf nahe am Grenzwert ausgesetzt sah, stellten Peyman et al. in Erwachsenen-Kopfmodellen und solchen für 3- und 7-jährige Kinder keine signifikanten SAR-Unterschiede beim simulierten Gebrauch eines Walkie-Talkies fest. Hier wurden zur Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften der Gewebe in den Modellen zuvor Messungen an Geweben aus dem Kopf von Schweinen unterschiedlichen Alters vorgenommen.

Geforscht wird zur Zeit noch intensiv an Ganzkörper-Expositionsabschätzungen von Kindern in verschiedenen Körperhaltungen und in weiten Frequenzbereichen (Nieder- bis Hochfrequenz), an Körpermodellen schwangerer Frauen in verschiedenen Schwangerschaftsstadien sowie an Worst-Case-Abschätzungen der Exposition von Kindern unter kumulativem Einfluss verschiedener Feldquellen. Neueste, noch unpublizierte Ergebnisse (Nagaoaka 2009, Chavannes 2009) sowie Dimbylow 2007 zeigen bereits Ganzkörpermodelle von schwangeren Frauen mit dem sich entwickelnden Fötus in verschiedenen Stadien (3. bis 38. Woche), allerdings in allen drei Fällen zusammengefügt aus Fötus-Modellen und skalierten/ deformierten Ganzkörper-Modellen nicht schwangerer Frauen. In einem Tagungsbeitrag wurde Ende November 2009 von der Arbeitsgruppe um Niels Kuster erstmals eine Ganzkörper-SAR-Modellierung einer schwangeren Frau im siebten Schwangerschaftsmonat vorgestellt, die nicht auf zusammengefügten Teilmodellen, sondern auf einer vollständigen MRI-Aufnahmeserie beruht.

Experimentelle Studien und Epidemiologie

In dieser Kategorie wurden **114 Tierstudien**, **23 epidemiologische Erhebungen** und bislang **9 Laboruntersuchungen an Kindern und Jugendlichen** identifiziert. Der Grund für die relativ geringe Anzahl von Studien mit Kindern und Jugendlichen im Labor ist sicherlich in der grundsätzlich hohen ethischen Hürde für solche Untersuchungen begründet. Diese Experimente bieten dann

dafür einen umso höheren Erkenntniswert, vorausgesetzt, das Studiendesign war gut und adäquat.

Tierstudien

Die überhaupt größte Gruppe der hier betrachteten Publikationen bilden mit 114 Titeln die Studien an jungen, schwangeren oder ungeborenen Tieren. Drei Untersuchungen aus dem Jahr 1975 an Wachtelembryos (Hamrick & McRee 1975), zur Eierproduktion von Hühnern (Krueger 1975) sowie zur Implantation und Fruchtentwicklung in Ratten (Dietzel 1975) wurden als früheste relevante Studien identifiziert. Unter der Vielzahl untersuchter Endpunkte wurden die Entwicklung im Mutterleib, fruchtschädigende Wirkung (Teratogenität) und Einwirkung auf die Fortpflanzung mit jeweils circa 30 Studien am häufigsten untersucht. Endpunkte, wie Genotoxizität (6 Studien), Krebs (6 Studien) oder Einflüsse auf das Zentralnervensystem (14 Studien), die am Menschen oft im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern untersucht wurden, sind hier eher unterrepräsentiert. Bei den untersuchten Frequenzen überwiegt zu fast jedem Endpunkt bei weitem die Mikrowellenofen-Frequenz 2,45 GHz (85 der 114 Publikationen zu Tieren; positive/ negative Befunde hier etwa gleich verteilt). Allein die Arbeitsgruppe um Donald McRee produzierte im Zeitraum von 1975 bis 1988 20 Publikationen mit dieser Expositionsfrequenz. Mobilfunkfrequenzen wurden in 36 Tierstudien untersucht, davon in einer die UMTS-Frequenzen. Bei den Mobilfunkfrequenzen überwiegen die Studien mit negativem Befund (siehe die Frequenzangaben in der Excel-Tabelle (siehe die Frequenzangaben in der Excel-Tabelle [→ online-Ausgabe], die sämtliche Publikationen enthält). Insgesamt wurde in 42 Tierstudien kein Effekt der Feldexposition berichtet, in 53 zeigten sich Effekte und in 14 Untersuchungen war der Befund unschlüssig. Zu den Details sei auf die entsprechende Tabelle im Materialteil in der online-Ausgabe der vorliegenden Analyse verwiesen. Bei der Aussage „mit beziehungsweise ohne gefundene Effekte“ – und dies vor allem mit Blick auf die frühen Studien mit der Mikrowellenofen-Frequenz 2,45 GHz – muss berücksichtigt werden, dass das Verhältnis der Expositionsdosen zu den heute gültigen Personenschutz-Grenzwerten sehr unterschiedlich war. Tendenziell wurde in vielen früheren Studien vor dem Jahr 2000 eher über dem oder am Grenzwert exponiert als darunter (siehe die entsprechenden Farbmarkierungen für die Grenzwertnähe der Exposition in der Excel-Tabelle [→ online-Ausgabe], die sämtliche Publikationen enthält).

Epidemiologische Studien

23 Bevölkerungsstudien unter Einbeziehung von Kindern oder Jugendlichen konnten im Zeitraum von 1993 bis 2008 identifiziert werden. Neben Kurz- und Mikrowellen von Diathermiegeräten und Mikrowellenöfen, Feldern von Radio- und TV-Sendern, Radar, Militäranennen-Aussendungen und Feldern von Schnurlostelefonen wurden in eher geringem Umfang auch die Auswirkungen von Mobilfunkfeldern untersucht (klar genannt nur bei 4 Studien; Chia 2000, Hardell 2004, Liu 2007, Divan 2008; klar positiver Befund hier nur bei den beiden erstgenannten Publikationen). Bei den untersuchten Parametern können drei Komplexe unterschieden werden: Einfluss auf die Nachkommenschaft (Fehlgeburtsrate, Geschlechterverhältnis, Missbildungen), Krebs (Leukämie, Hirntumor) und Verhaltens- und Schmerzsymptome. Von klar positiven Befunden wurde in 11, von klar negativen in 5 der 23 Publikationen berichtet. Die restlichen ergaben uneinheitliche Resultate (Details siehe im online-Materialteil in der Tabelle „Epidemiologische Studien“).

das EEG, kognitive Funktionen, das Immunsystem, der Hormonstatus und die Herztätigkeit von Kindern und/oder Jugendlichen untersucht. Hier standen bis auf eine Studie die Mobilfunkfrequenzen um 900 MHz oder (in einem Fall) 1800 MHz im Fokus. Frequenzen von Radio- und TV-Sendern im Bereich 0,1 MHz bis 3 GHz wurden in einem Fall untersucht (Clark 2007). In 5 Studien wurde ein Effekt der Feldexposition gefunden (EEG, kognitive Funktionen, Herztätigkeit), in 3 dagegen nicht (kognitive Funktionen, Hormonstatus). Uneinheitliche Ergebnisse zu Zellen des Immunsystems werden in Capri 2006 berichtet, wobei Effekte eher in Zellen der zum Vergleich zu jungen Spendern untersuchten älteren Spender auftraten. Insgesamt also bei den wenigen, bisher vorliegenden Laboruntersuchungen unter Beteiligung nicht erwachsener Menschen ein uneinheitliches Bild mit leichtem Überhang zu festgestellten Effekten. Hier ist die Anzahl an solchen Untersuchungen für eine fundierte Beurteilung sicher noch zu klein (Details siehe in der Tabelle „Laboruntersuchungen an Jugendlichen und Kindern“).

Laboruntersuchungen an Kindern und Jugendlichen

In 9 Laborstudien wurden im Zeitraum von 2001 bis 2009

Reviews

Eine überraschend große Zahl von 41 Reviews beschäftigte sich im Zeitraum 1985 bis 2009 zumindest teilweise mit

Autor (Land)	Jahr	Frequenz	Expositionstärke	Untersuchungsparameter	Ergebnis
Kramarenko (Ukraine)	2003	900 MHz	Keine Angaben	EEG	+
Krause (Finnland)	2006	900 MHz	im Bereich und über internationalen Grenzwerten	EEG	+
Lee (China)	2001	Mobiltelefon	Keine Angaben	Kognitive Funktionen	+
Haarala (Finnland)	2005	902 MHz	im Bereich internationaler Grenzwerte	Kognitive Funktionen	--
Preece (UK)	2005	902 MHz	im Bereich internationaler Grenzwerte	Kognitive Funktionen	--
Abramson (Australien)	2009	Mobiltelefon	Keine Angaben	Kognitive Funktionen	+
Capri (Italien)	2006	1.8 GHz	im Bereich internationaler Grenzwerte	Immunsystem	+/-
Clark (USA)	2007	Radio- und Fernsehsender 0.1 - 3000 MHz	unterhalb internationaler Grenzwerte	Hormonstatus	--
Rezk (Ägypten)	2008	900 MHz	Keine Angaben	Herztätigkeit	+

Laboruntersuchungen an Jugendlichen und Kindern

Studien zum Thema Funkanwendungen und Kinder/Jugendliche beziehungsweise ungeborene oder junge Tiere (siehe im online-Materialteil unter „Reviews“). Jedoch wird in vielen dieser Reviews das Thema „Kinder und Jugendliche“ nur angerissen oder aus einem bestimmten Blickwinkel beleuchtet. Es fehlt eine Auseinandersetzung und kritische Bewertung der *gesamten* vorhandenen Literatur *aller* genannten Forschungsbereiche, die in der vorliegenden Analyse zumindest einmal gesammelt präsentiert wird. So wird oft am Ende auf methodische Defizite aufmerksam gemacht, weitere Forschung angemahnt und in Ermangelung einer Gesamtanalyse der wirklich harten Fakten vorsichtshalber ein „umsichtiger, zurückhaltender“ Gebrauch („prudent use“) von Mobiltelefonen durch Kinder empfohlen (zum Beispiel Schüz 2005). Zudem sind viele der Schlussfolgerungen in den Reviews durch die oben im Teil „Dosimetrische Untersuchungen“ dargestellte, rasante Entwicklung im Bereich der Expositionsabschätzung für Kinder und ungeborenes Leben überholt worden und büßen dadurch an Gültigkeit ein. Hierbei muss zum einen gesehen werden, dass die Themenstellung einer verstärkten Nutzung der Mobilfunktechnik und anderer drahtloser Technologien durch Kinder und Jugendliche erst frühestens seit Ende der 90er Jahre auftrat. Hierfür sind der technologische Fortschritt, gesellschaftliche Veränderungen und wirtschaftliche Aspekte für junge Menschen bei der Verfügbarkeit der Technologien entscheidend gewesen. Zum anderen muss gesehen werden, dass derart hochwertige Berechnungen und Modellierungen der SAR-Werte, die es ermöglichen, wirklich aussagekräftige Vergleiche zwischen Erwachsenen und Kindern zu ziehen, erst mit dem Fortschritt der letzten Jahre in der Computertechnik möglich wurden. So wird man sich für eine stichhaltige Bewertung der Situation eher nur auf die neuesten oder sogar auf künftige Reviews stützen müssen. Nicht umsonst findet daher auch die Bewertung und Einschätzung der Situation in den Reports internationaler Kommissionen und Institutionen turnusmäßig, oft ungefähr im Jahresrhythmus, immer wieder neu statt.

Reports nationaler und internationaler Kommissionen und Institutionen

Doch selbst die Aussagen in den neuesten Reports spiegeln das zuletzt gesagte wider: In Ermangelung genügend vieler Daten von genügend hoher technischer/statistischer Qualität wird auch hier auf noch laufende Forschung (zum Beispiel die epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien CE-

FALO und MOBIKIDS) oder auf Forschungslücken hingewiesen und zum Teil vorsichtshalber ein zurückhaltender Gebrauch von Mobilfunktechnik durch Kinder empfohlen. Die Ergebnisse der Studien zu Kindern und Jugendlichen, die im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogrammes (DMF) durchgeführt wurden, sind im entsprechenden Bericht der deutschen Strahlenschutzkommission wiedergegeben und bewertet worden (Details hierzu siehe im Online-Materialteil unter Reports/SSK). Eindeutig restriktive Maßnahmen (zum Beispiel die Beschränkung des Gebrauchs von Mobiltelefonen auf Personen über 18 Jahre) werden eher in Reports von Organisationen mit negativer Grundeinstellung gegenüber der Mobilfunktechnik vorgeschlagen (zum Beispiel „Bioinitiative-Report“, siehe im Online-Materialteil unter „Reports“). Dem Bioinitiative-Report wurde aber zum Beispiel von verschiedenen Bewertungskommissionen nachgewiesen, dass er keine objektive und ausgewogene Betrachtung des aktuellen Standes der Wissenschaft darstellt, wissenschaftliche Schwächen aufweist, keine neuen Daten umfasst und eine tendenziöse Auswahl in einigen Forschungsgebieten bietet (http://www.mmfa.org/public/docs/de/090105_MMF_Viewpoint_Bio-InitiativeReport_final_de.pdf). Genau solche ungeeigneten Voraussetzungen verhindern aber, dass man zu einer objektiven Einschätzung der Lage und der möglichen besonderen Gefahren für Kinder und Jugendliche kommt.

Nur wenn alles verfügbare wissenschaftliche Material objektiv einer eingehenden Bewertung – auch in Bezug auf die Qualität – unterzogen wird, kann man zu einer ausreichend gesicherten Analyse des tatsächlichen Gefahrenpotenzials kommen. Die vorliegende wissenschaftliche Sammlung mit einer ersten kurzen Analyse soll hierfür eine Grundlage bieten.

Ergänzend zu diesem Artikel finden Sie im Online-Teil der Ausgabe:

- *Eine chronologisch aufgebaute Excel-Tabelle mit mehreren Tabellenblättern, die sämtliche Literatur zum Thema auf einen Blick sowie Einzelübersichten dazu enthält;*
- *Eine Materialsammlung mit tabellarischen Zusammenfassungen, Zitaten aus Reviews, Reports internationaler Institutionen und Medienveröffentlichungen zum Thema sowie der Referenzliste.“*

Dr. Wilma Dubois und Dr. Frank Gollnick sind Mitarbeiter der FGF.