

**[mus]<sup>©</sup>**

**Unabhängige, interdisziplinäre, ökologisch orientierte  
Expertengruppe**

## **Medizin und Umweltschutz**

# **Mögliche gesundheitliche Auswirkungen elektromagnetischer Felder im hochfrequenten Bereich des Mobilfunks und anderer drahtloser Funkdienste**

Gutachter

Ao Univ.-Prof. Dr. Michael Kundi  
Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr. med. Hans-Peter Hutter

Erstellt im Auftrag der Wiener Umweltschutzbehörde

Wien, im Juli 2005

# Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung .....	2
2	Einleitung .....	2
3	Thermische und nicht-thermische Effekte .....	3
4	Die Risikobeurteilung des Mobilfunks .....	5
5	Überblick über wissenschaftliche Untersuchungen .....	8
5.1	Epidemiologische Untersuchungen .....	8
5.1.1	Mobiltelefone.....	8
5.1.2	Basisstationen.....	11
5.2	Provokationsstudien .....	15
5.2.1	Mobiltelefone.....	16
5.2.2	Basisstationen.....	18
5.3	Tierversuche .....	19
5.4	In vitro – Untersuchungen.....	21
6	Umweltmedizinische Beurteilung .....	23
7	Gutachten.....	24
	Literatur .....	26

# 1 Aufgabenstellung

Die Umweltschutzverbände Österreichs erarbeiten unter der Federführung der Wiener Umweltschutzverbände ein gemeinsames Positionspapier zum Thema Mobilfunk und Gesundheit und zur Diskussion möglicher gesundheitlicher Auswirkungen elektromagnetischer Strahlen im hochfrequenten Bereich des Mobilfunks und anderer drahtloser Funkdienste.

Das Papier dient einerseits zur sachlichen Information der Bevölkerung, andererseits soll damit an den verantwortlichen Bundesgesetzgeber herangetreten werden mit der dringenden Empfehlung eine gesetzliche Regelung betreffend Festlegung von Grenzwerten zur Minimierung elektromagnetischer Felder zu erlassen. Die Wiener Umweltschutzverbände beauftragte „Medizin und Umweltschutz“ ein Gutachten über die medizinischen Grundlagen zu diesem Themenbereich zu erstellen.

## 2 Einleitung

Seit mehr als 50 Jahren werden biologische und gesundheitliche Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder (HF-EMF) untersucht. Bereits in den 1940er Jahren war aufgrund anekdotischer Berichte insbesondere von Militärärzten vermutet worden, dass Radar und andere Quellen hochfrequenter Felder Reaktionen des Organismus auslösen, die zu funktionellen und auch pathologischen Veränderungen führen könnten. An Arbeitsplätzen und im militärischen Bereich wurden schon in den 1950er Jahren Expositionsbeschränkungen eingeführt, die allerdings kaum auf Evidenz basierten. Obwohl der Mikrowellenherd bereits erfunden war, bestand noch kaum breite Kenntnis davon, dass HF-EMF thermische Effekte hervorrufen, die den Organismus schwer schädigen können. Nur so ist zu begreifen, dass die 1953 erschienene Untersuchung von Boysen, der darin nachwies, dass eine Exposition von Kaninchen mit einem 350 MHz Feld hoher Intensität zu schweren hämorrhagischen Schäden in nahezu allen Organen und zum Tod führt, auf breiten Unglauben stieß. Ebenfalls ohne Echo blieb ein Bericht von McLaughlin aus dem selben Jahr, in dem die Vermutung geäußert wurde, dass Radarexposition zu Krebs führen könnte. Erst als 1957 ein Todesfall nach einer Exposition mit Mikrowellen unbekannter Intensität ein breites Medienecho in den USA auslöste, wurde im Westen mit der systematischen Erforschung der Wirkungen von HF-EMF ernsthaft begonnen. In den früheren Ostblockländern hat man ebenfalls bereits in den 1950er Jahren begonnen die Wirkungen dieser Expositionen auf biologische Systeme zu untersuchen, wobei man allerdings einen methodisch deutlich unterschiedlichen Ansatz verfolgte. Erst in den 1970er Jahren erfolgte ein Austausch von Forschungsergebnissen, und es begannen Bestrebungen, die Exposition zu limitieren, was dann ab den 1980er Jahren in vielen Ländern zu entsprechenden Richtlinien führte. Österreich war mit der ÖNORM S1120, die 1986 als

Entwurf einer Vornorm erschien, eines der ersten Länder, das solche Normen herausbrachte.

Es ist für viele Wissenschaftler, die mit diesem Forschungsgebiet nicht vertraut sind, unverständlich, wieso es nach einer so langen und bei flüchtiger Betrachtung auch gründlichen Erforschung der Auswirkungen von HF-EMF noch immer Kontroversen gibt und keine Einigkeit darüber besteht, auf welchen Grundlagen die Exposition limitiert werden soll. Man kann daher nicht erwarten, dass in der Bevölkerung den verschiedenen Positionen in der Wissenschaft großes Verständnis und Vertrauen entgegen gebracht wird. Unter solchen Umständen tendieren viele Menschen dazu, eher denen zu glauben, die vor einem unbedenklichen Umgang mit der Technologie warnen. Die modernen Medien erlauben es heute jedem, sich breit zu informieren. In erster Linie gerät man aber an Informationen, die bereits gefiltert und auf die jeweiligen Interessenslagen zugeschnitten sind. So wird der Umgang mit der Information zu einer Frage der Glaubwürdigkeit.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig, zwei Aspekte zu unterscheiden: Einmal gibt es eine berechtigte Kontroverse in der Wissenschaft im Zusammenhang mit der Frage gesundheitlicher Auswirkungen von HF-EMF, diese Kontroverse hat bestimmte Gründe rein wissenschaftlicher Natur; zweitens gibt es ein Interesse wirtschaftlicher, militärischer und damit auch staatlicher Einrichtungen an einer möglichst unbeschränkten Nutzung von Technologien, die mit Expositionen gegenüber HF-EMF einhergehen; ebenso gibt es auch ein wirtschaftliches Interesse Einrichtungen zum Schutz vor solchen Immissionen zu verkaufen. Wissenschaftler können sich in einer Frage von so weitreichender politischer und wirtschaftlicher Bedeutung kaum auf den rein wissenschaftlichen Standpunkt zurückziehen, und so besteht die Gefahr, je nach Position, die man in der Kontroverse einnimmt, von der einen oder anderen Seite instrumentalisiert zu werden. Andererseits hat der Wissenschaftler eine Verpflichtung gegenüber der Gesellschaft, seine Kenntnisse und Erkenntnisse zugänglich und nutzbar zu machen und zum Wohl der Allgemeinheit in die Waagschale zu werfen, wenn es etwa um Entscheidungen über Nutzen und Risiko einer Technologie geht. Wie die Allgemeinheit entscheidet, ist ein Vorgang des Interessenausgleichs und politischer Willensbildung. Es kann nicht die Aufgabe des Wissenschaftlers sein, diese Entscheidung zu ersetzen. Es ist aber seine Aufgabe, die Grundlagen für solche Entscheidungen zu erarbeiten.

### **3 Thermische und nicht-thermische Effekte**

Wenn elektromagnetische Energie von Geweben absorbiert wird, dann wird diese Energie in Wärme umgewandelt. Eine praktische Anwendung dieser Tatsache ist der Mikrowellenherd. Der Grund dafür, dass von Geweben elektromagnetische Energie überhaupt absorbiert wird, liegt darin, dass Gewebe Dielektrika darstellen. Dielektrika unterscheiden sich von Leitern dadurch, dass das elektromagnetische Feld (EMF) durch sie hindurchdringt (Leiter sind im

Inneren feldfrei). Beim Durchdringen des Gewebes übt das EMF Kraftwirkungen auf Ladungen aus, diese ändern dadurch ihre Bewegungs- und/oder Rotationsenergie. Eine Konsequenz ist die Erhöhung der kinetischen Energie dieser geladenen (oder polaren) Teilchen, die makroskopisch als Temperaturanstieg in Erscheinung tritt. Aus diesen Zusammenhängen ergibt sich, dass Gewebe mit einem hohen Anteil polarer Moleküle und Ionen viel Energie absorbiert. Daher ist die Absorption in flüssigkeitsreichen Geweben hoch (stark durchblutete Gewebe, Gewebe reich an interstitieller Flüssigkeit, flüssigkeitsgefüllte Hohlräume) und in flüssigkeitsarmen niedrig (Fettgewebe, Knochen). Die Rate der Absorption ist proportional dem Quadrat der elektrischen Feldstärke im Gewebe. Die Proportionalitätskonstante ist das Verhältnis der Leitfähigkeit zur Dichte des Gewebes. Dabei handelt es sich aber um makroskopische Begriffe. Dichte und Leitfähigkeit eines Gewebes sind Durchschnittswerte über ein Gebiet, das im Normalfall Milliarden von Zellen umfasst. Welche Verhältnisse bei einer Exposition für Zellen und Zellverbände herrschen, ist derzeit nur mit groben Näherungen und Modellen zu erfassen.

Die wissenschaftliche Kontroverse geht im Wesentlichen darauf zurück, dass die eine Gruppe davon ausgeht, dass die makroskopische Beschreibung ausreicht, um alle wesentlichen Vorhersagen über biologische Effekte und letztlich auch die Schadwirkungen vornehmen zu können, während die andere Gruppe davon ausgeht, dass auch Effekte auf der Mikroebene (also dem Niveau der Zelle und von Zellverbänden) von Bedeutung sind, die nicht vollständig durch die entstehende Wärme erklärt werden können.

Reichte die makroskopische Beschreibung aus, dann ergäbe sich eine starke Vereinfachung der Problemstellung. Denn da für diese Beschreibung nur die Rate der Energieabsorption von Bedeutung ist, wären alle Arten von Exposition gleichgültig welcher Frequenz, welcher Intensität, welcher sonstigen Charakteristika (wie z.B. der Modulationsart), die zur selben Absorptionsrate führen, hinsichtlich der Wirkungen äquivalent. Das würde eine enorme Reduktion der Komplexität des Problems bedeuten. Weiters ergibt sich aus der Proportionalität von Energieabsorptionsrate und Temperaturanstieg im Gewebe, dass die durch das EMF bewirkte Erwärmung als Basis der Effekte angesehen werden müsste.

Ist diese Auffassung aber falsch, d.h. reicht die makroskopische Beschreibung nicht aus, dann fällt nicht nur die Annahme weg, die Komplexität ließe sich in der beschriebenen Art reduzieren, sondern die Temperaturerhöhung könnte auch nicht die einzige Quelle von biologischen Effekten sein. Es könnte sich allerdings herausstellen, dass ein Modell der Wechselwirkung auf Mikroebene ebenfalls eine starke Komplexitätsreduktion ermöglicht, sie könnte aber nicht gleich stark sein, wie jene des Modells der Energieabsorptionsrate (SAR-Modell, Modell der spezifischen Absorptionsrate). Daher sind, unter der Voraussetzung, dass das SAR-Modell unzulänglich ist, bis auf weiteres die Charakteristika der Exposition (insbesondere Frequenz und Zeitverlauf) als Bestimmungsgrößen möglicher Wirkungen mit zu berücksichtigen.

Die Kontroverse kann nach dem Gesagten auch durch die Antwort auf die Frage charakterisiert werden, ob es nicht-thermische Effekte gibt. Als nicht-thermisch werden Effekte bezeichnet, die mit einer biologisch als irrelevant angesehenen Temperaturerhöhung einhergehen (es ist zu beachten, dass jede auch noch so schwache Feldeinwirkung theoretisch eine Temperaturerhöhung – wenn auch nur um Bruchteile eines Grads – bewirkt; tatsächlich kommt es aber wegen des Wärmetransports bei sehr kleinen Feldstärken zu keiner realen Temperaturerhöhung). Es wurde vorgeschlagen, zusätzlich noch athermische Effekte zu unterscheiden, die als Effekte zu charakterisieren sind, die mit oder ohne relevante Temperaturerhöhung des Gewebes auftreten, aber nichts mit der Temperatur zu tun haben. Üblicherweise wird eine Temperaturerhöhung in der Größenordnung von Zehntel Grad, zumindest aber um ein Grad als relevant betrachtet.

Eine große Zahl von Wissenschaftlern ist der Auffassung, dass es nicht-thermische Effekte nicht gibt und dass Untersuchungen, die deren Existenz nahe legen, fehlerhaft sind. Demgegenüber sind viele Wissenschaftler der Meinung, dass die Position der Verfechter des SAR-Konzeptes große Schwächen aufweist. Das Äquivalenzprinzip wurde niemals empirisch untermauert, selbst bei thermischen Effekten zeigen sich Unterschiede zu Effekten, die von externer Erwärmung hervorgerufen werden, die Annahme alle Untersuchungen, die nicht-thermische Effekte nahe legen, wären falsch, hat den Charakter eines unwissenschaftlichen Dogmatismus. Darüber hinaus sind viele Wissenschaftler der Auffassung, dass die Verantwortung für den Schutz der Menschen gebietet, bis zum Vorliegen klarer Beweise für das Gegenteil, von einem Modell auszugehen, dass mit dem höchsten Schutzniveau verbunden ist. Die Annahme ausschließlich thermischer Effekte führt zu hohen zulässigen Expositionen und erfüllt nicht das worst-case Prinzip. Andererseits muss man auch klar machen, dass es den Nachweis der Schädigungslosigkeit nicht gibt. Das würde erfordern unendlich viele Untersuchungen durchzuführen, was klarerweise nicht möglich ist. Alle wissenschaftlichen Erkenntnisse sind vorläufig, und es ist möglich, dass sie durch zukünftige Erkenntnisse modifiziert und abgelöst werden.

Die Wissenschaft hat die Verpflichtung, zum Schutz der Menschen jene Maßnahmen vorzuschlagen, die bei dem gegebenen Kenntnisstand die geeignetsten zu sein scheinen. Diese mögen sich in der Zukunft als zu vorsichtig oder zu lax herausstellen, aber es ist nicht gerechtfertigt damit zuzuwarten und darauf zu hoffen, dass sich die Kenntnislage in der Zukunft entscheidend verbessern würde.

#### **4 Die Risikobeurteilung des Mobilfunks**

Die Vorgangsweise bei der Risikobeurteilung einer Umwelteinwirkung ist grundsätzlich für alle Arten chemischer, biologischer und physikalischer Faktoren gleich. Sie beruht auf drei Datenquellen: auf epidemiologischen Untersuchungen (das sind Untersuchungen, in denen eine größere Zahl von Menschen einbezogen werden, um zu prüfen, ob ein Zusammenhang

zwischen dem Umweltfaktor und einer Erkrankung besteht), auf Tier- und Humanexperimenten (das sind Untersuchungen, in denen Menschen oder Tiere unter kontrollierten Bedingungen dem jeweiligen Faktor ausgesetzt und die Reaktionen darauf ermittelt werden) und auf in vitro Untersuchungen (das sind Untersuchungen, in denen Zellen oder Gewebe außerhalb des Organismus dem Faktor ausgesetzt und die dadurch ausgelösten Veränderungen gemessen werden). Dazu kommen noch Überlegungen auf Basis theoretischer Modelle zum Wirkmechanismus.

Obwohl es, wie immer wieder kolportiert wird, mehrere tausend Untersuchungen zu HF-EMF gibt, ist der größte Teil für die Risikobeurteilung belanglos. Denn die meisten Untersuchungen beschäftigen sich mit dosimetrischen Fragen, d.h. mit dem Zusammenhang zwischen Feldgrößen außerhalb des Organismus und der Feldverteilung im Inneren des Organismus. Ebenfalls eine große Zahl von Untersuchungen beschäftigen sich mit thermischen Effekten bei Feldstärken, wie sie in der Umwelt normalerweise nicht auftreten. Nur ein kleiner Anteil kann zum Zweck der Risikobeurteilung herangezogen werden. Aus diesem Grund entspricht es nicht den Tatsachen, dass es zahllose Untersuchungen gäbe, die als Basis einer Beurteilung dienen können. Speziell zum Mobilfunk ist festzustellen, dass zum Zeitpunkt der Einführung der bereits zweiten Generation (=digitaler Mobilfunk, bei uns das GSM) im Jahr 1993 keine einzige Untersuchung zu den biologischen oder gesundheitlichen Auswirkungen weder der ersten noch der zweiten Generation vorlag.

Wenngleich es fahrlässig erscheinen mag, eine Technologie weltüberspannend einzuführen, deren mögliche Schadwirkungen nicht untersucht sind, muss man das vor dem Hintergrund der damals und vielleicht auch heute noch vorherrschenden Meinung sehen, dass es gar nicht auf die Art der Exposition, sondern nur auf die Rate der Energieabsorption ankommt. Ist das so, dann ist es gar nicht notwendig, die spezifische Funkanwendung zu untersuchen, wenn man nur weiß, dass diese Rate der Energieabsorption unterhalb der als unbedenklich geltenden Schwelle liegt. Allerdings muss man auch betonen, dass bereits 1981 die Environmental Health Criteria der WHO zu HF-EMF hervorheben, dass die Rate der Energieabsorption nicht als einzige Bestimmungsgröße der Wirkungen einer Exposition herangezogen werden darf.

Inzwischen hat sich die Datenlage zur Frage der Auswirkungen des Mobilfunks deutlich verbessert und es liegen etwa 100 Untersuchungen vor, die zur Risikobeurteilung herangezogen werden können. Allerdings muss man dabei zwischen der Beurteilung der Exposition gegenüber einem Handy und derjenigen gegenüber einer Mobilfunk-Basisstation unterscheiden. Zu Basisstationen gibt es nur einige wenige Untersuchungen, die bisher erschienen sind und einige, die noch nicht veröffentlicht sind und daher nur eingeschränkt als Beurteilungsgrundlage verwendet werden können.

Obwohl die Exposition durch ein Handy und eine Basisstation nahezu dieselbe Frequenz aufweist, sind die Unterschiede so erheblich, dass man nicht von vorneherein annehmen

kann, dass die Wirkungen vergleichbar sind. Die Exposition durch ein Handy erfolgt im Nahfeld (das heißt innerhalb eines Bereichs, in dem die elektrische und magnetische Komponente noch nicht fest aneinander gekoppelt sind und in der es zwischen der Antenne und dem exponierten Organismus zu komplexen Interaktionen kommen kann, die die Feldverteilung im Inneren des Organismus beeinflusst), während die durch eine Basisstation im Allgemeinen eine Fernfeldexposition darstellt. Das Handy wird meist nur relativ kurz benutzt, während man der Exposition gegenüber einer Basisstation dauernd ausgesetzt sein kann. Auch der Zeitverlauf unterscheidet sich gravierend: z.B. ist bei einem GSM-Handy die Abstrahlung gepulst mit einer Hauptkomponente von 217 Hz und einer weiteren Komponente von 8 Hz, während bei einer Basisstation je nach Anzahl abgewickelter Gespräche diese Pulskomponenten variieren. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass das Handy beim Telefonieren zu einer lokalen Exposition des Kopfes und der Hand führt, während die Emission einer Basisstation in der Regel eine Ganzkörperexposition darstellt. Und schließlich liegt ein deutlicher Unterschied auch in der Intensität: in den meisten Fällen ist man gegenüber einer Basisstation mindestens um den Faktor 1000 niedriger exponiert als gegenüber einem Handy beim Telefonieren. Käme es nur auf die Rate der Energieabsorption an, dann wäre die Dauer der Exposition ohne Bedeutung und nur die Intensität wäre zu berücksichtigen. Auch die Unterschiede in der Modulation und im Zeitverlauf wären nur insofern von Bedeutung, als sie die Mittelung beeinflussen. Vom Standpunkt der Vertreter des SAR-Modells ist daher die Exposition gegenüber einer Basisstation vernachlässigbar, wenn die gegenüber einem Handy schon keine Schadwirkungen hervorruft. Daher ist von dieser Position aus zunächst zu zeigen, dass Handys gesundheitlich bedeutsame Effekte hervorrufen. Erst wenn das der Fall sein sollte, könne man sich der Frage der Basisstationen widmen. Bis vor kurzen hat diese Auffassung auch die WHO bzw. das internationale WHO EMF Projekt vertreten. Inzwischen anerkennt man auch von dieser Seite die Notwendigkeit, sich spezifisch der Wirkungen von Emissionen von Basisstationen anzunehmen.

Da wir nicht von der Annahme des SAR-Modells ausgehen, können wir für die Risikobeurteilung erstens nur solche Untersuchungen heranziehen, die bzgl. der Expositionsbedingungen der Mobilfunktechnik entsprechen und zweitens müssen wir die Auswirkungen von Handys von denen einer Basisstation unterscheiden. Grundsätzlich besteht bei dieser Vorgangsweise aber das Problem, dass jede Funkanwendung getrennt zu untersuchen und zu beurteilen ist. Dies entspricht der Situation in der Toxikologie chemischer Stoffe. In diesem Bereich ist es ebenfalls unzulässig eine Substanz zu untersuchen und daraus Schlussfolgerungen auf andere, nicht untersuchte Stoffe zu ziehen. Es kommt sogar vor, dass Kongenere ein und derselben Substanz ganz unterschiedliche Wirkungen haben. Obwohl in diesem Bereich Fortschritte bei der Vorhersage von Wirkungen auf der Basis von Struktur-Aktivitäts-Analysen und Computersimulationen erzielt wurden, ist im Allgemeinen die toxikologische Untersuchung unverzichtbar. Dass man bei der



Bewertung von HF-EMF anders vorging, hängt unseres Erachtens mit der bereits frühzeitig erfolgten Festlegung auf die thermische Natur möglicher Schadwirkungen zusammen. Eine Konsequenz war, dass man im Niedrigdosisbereich bis zum Beginn der 1980er Jahre keine einzige Untersuchung zur Langzeitwirkung im Tierversuch durchgeführt hat. Während solche Untersuchungen zum Standardrepertoire der toxikologischen Prüfung möglicher Schadwirkungen gehören (und so gut wie alle nicht oder nur in geringer Konzentration in der natürlichen Umwelt auftretenden Stoffe, die an Arbeitsplätzen oder in der Umwelt mit größerer Verbreitung vorkommen, sind auf diese Weise untersucht worden), liegt zu HF-EMF im Allgemeinen und zu Mobilfunkexpositionen im Besonderen kein einziger Tierversuch vor, der den üblichen toxikologischen Kriterien entspricht. Ebenfalls bemerkenswert ist die Tatsache, dass trotz der bereits Anfang der 1950er Jahre geäußerten Befürchtung, die Exposition gegenüber HF-EMF könnte zum Auftreten von Krebserkrankungen beitragen, erst 1980 die erste epidemiologische Untersuchung zu dieser Frage veröffentlicht wurde (Robinette et al. 1980). Durch die massenhafte Verbreitung von Mobiltelefonen und ihren Basisstationen wurde die Frage gesundheitlicher Auswirkungen von HF-EMF erneut in den Blickpunkt der Öffentlichkeit gerückt und damit eine neue Ära der Forschung eingeleitet, von deren Ergebnissen man sich ein besseres Verständnis der Wirkungsweise von EMF erwarten kann.

## 5 Überblick über wissenschaftliche Untersuchungen

### 5.1 Epidemiologische Untersuchungen

#### 5.1.1 Mobiltelefone

Zu Mobiltelefonen sind bislang 20 epidemiologische Untersuchungen erschienen, wobei sich der größte Teil mit Tumorerkrankungen im Kopfbereich beschäftigt hat. Vier Untersuchungen sind zu Einflüssen des Mobiltelefonierens auf das Wohlbefindens veröffentlicht worden.

Tabelle 1: Übersicht über epidemiologische Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen Mobiltelefonieren und Krebserkrankungen bzw. Tumore im Kopfbereich (Studien mit Hinweisen auf ein erhöhtes Risiko durch Fettdruck hervorgehoben).

Studie	Ergebnis
Rothman et al. (1996); Dreyer et al. (1999)	Studie gerichtlich abgebrochen; Ergebnisse wegen zu kurzer Laufzeit nicht verwertbar.
<b>Hardell et al. (1999, 2000, 2001)</b>	Signifikante OR=2,62 für ipsilaterale Hirntumore.
Muscat et al. (2000)	Nur 14/469 Hirntumorfälle mit Handynutzung>3 Jahre; grenzwertig signif. (p=0,06) Lateralität.
Inskip et al. (2001)	Nur 22/782 Hirntumorfälle mit Handynutzung>4 Jahre; kein erhöhtes Risiko.
<b>Stang et al. (2001)</b>	Kleine Zahl von Handynutzern unter Patienten mit uvealen Melanomen; signif. OR=4,2 für langdauernde, intensive Nutzung.

Johansen et al. (2001)	Min. 42% der Nutzer ausgeschlossen, 92% der GSM-Kunden kürzer als 3 Jahre, für 43% der Kohorte Nutzungsdauer nicht ermittelt, nur Registerinformation, keine Verifikation der tatsächlichen Nutzung, keine Kontrollkohorte; kein erhöhtes Risiko.
<b>Auvinen et al. (2002)</b>	Signifikant erhöhtes Hirntumorrisiko für Analogtelefonbenutzer (OR 1.6) sowie Trend mit steigender Nutzungsdauer (1.2 pro Jahr). Kein erhöhtes Risiko für Speicheldrüsenkrebs.
Muscat et al. (2002)	Kurze Nutzungsdauer, Hinweis für Auswirkungen der Symptome auf Mobiltelefonnutzung. Kein erhöhtes Risiko für Akustikusneurinom.
<b>Hardell et al. (2002, 2003)</b>	Signifikant erhöhtes Hirntumorrisiko für Analogtelefone (OR 1.3), zunehmendes Risiko mit zunehmender Dauer der Nutzung, höchstes Risiko für Akustikusneurinome (OR 3.5). Signifikanter Zusammenhang mit Seite, an der überwiegend telefoniert wurde.
Warren et al. (2003)	Sehr kleine Fallzahl (18) und kurze Expositionsdauer; kein erhöhtes Risiko für Gesichtsnerventumore.
<b>Christensen et al. (2004)</b>	Signifikant höheres Akustikusneurinomvolumen bei Mobiltelefonnutzern, kein erhöhtes relatives Risiko; kurze Nutzungsdauer (nur 19/106 > 5 Jahre).
Hardell et al. (2004)	Kein erhöhtes Risiko für Speicheldrüsenkrebs.
<b>Loenn et al. (2004)</b>	Signifikant erhöhtes Risiko für ipsilaterale Akustikusneurinome bei >10 Jahre Nutzungsdauer (OR=3,9).
Christensen et al. (2005)	Kein erhöhtes Risiko für Hirntumore; zu kleine Zahl von länger Exponierten.
Loenn et al. (2005)	Kein erhöhtes Risiko für Gliome und Meningeome; nur 15/309 bzw. 4/208 >9 Jahre Nutzungsdauer.
<b>Hardell et al. (2005)</b>	Kein erhöhtes Risiko für B-Zell Non-Hodgkin Lymphome (NHL); erhöhtes Risiko für T-Zell NHL bei >5 Jahren Latenzzeit (OR=1.92 für digitale Mobiltelefone).

Von den epidemiologischen Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Mobiltelefonieren und Krebs- bzw. Tumorerkrankungen sind alle bis auf zwei (Rothman et al. 1996 bzw. Dreyer et al. 1999 und Johansen et al. 2001) Fall-Kontroll-Studien. Die beiden Ausnahmen sind Kohortenstudien, die Angaben der Netzbetreiber über Vertragskunden nutzten, um die Inzidenz von Krebserkrankungen dieser vermutlich das Handy benutzenden Gruppe zu analysieren.

Alle Untersuchungen, die eine ausreichende Mächtigkeit aufwiesen, um etwa eine Verdopplung des Risikos bei einer Latenzzeit von mindestens 5 Jahren nachzuweisen, fanden eine signifikante Risikoerhöhung. Allerdings sind eine Reihe von möglichen Fehlerquellen zu berücksichtigen, sodass eine Aussage zum Risiko des Mobiltelefonierens noch nicht konsensfähig ist. Die durch die WHO betreute Interphone Studie, die in 13 Ländern durchgeführt wird, sollte zumindest einige der offenen Fragen klären helfen. Dazu zählt z.B. die Frage, ob die Assoziation mancher Hirntumore mit der Kopfseite, die beim Telefonieren überwiegend verwendet wurde, eine Folge der (promovierenden) Wirkung der

Mikrowellen ist oder auf die frühere Diagnose aufgrund einer höheren Symptomaufmerksamkeit zurückgeht. Aufgrund der Tatsache, dass ein höheres Tumolvolumen bei Mobiltelefonierern gefunden wurde, scheint letztere Annahme zwar unwahrscheinlich, aber ein Beweis für die Wirkung des Mobiltelefons ist das noch nicht.

Zu Auswirkungen des Mobiltelefonierens auf das Wohlbefinden gibt es vier Untersuchungen. Diese Untersuchungen sind in Tabelle 2 im Überblick dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht über epidemiologische Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Wohlbefinden bzw. bestimmten Symptomen und Mobiltelefonieren.

Studie	Ergebnis
Hocking 1998	40 Personen nach Aufruf gemeldet; ein Großteil berichtet über ungewöhnliche Kopfschmerzsymptome.
Oftedal et al. 2000	10631 norweg. u. schwed. Personen aus Register der Netzbetreiber mit Mobiltelefonnutzung auch für berufl. Zwecke; 31% der norweg. u. 13% der schwed. Teilnehmer berichten über Symptome; 45% haben Maßnahmen zur Reduktion der Exposition ergriffen.
Chia et al. 2000	Zufallsstichprobe von 808 Bewohnern in Singapur; signif. RR=1,3 für Kopfschmerz; Zunahme von Kopfschmerz mit Nutzungsdauer.
Sandström et al. 2001	16992 norweg. und schwed. Mobiltelefonbenutzer aus Register; signif. Zunahme von Beschwerden mit Dauer und Zahl der Gespräche.

Die Untersuchung von Hocking (1998) ist keine epidemiologische Untersuchung im eigentlichen Sinn. Ihr Ziel war zu ermitteln, ob bei Mobiltelefonnutzern besondere Formen von Kopfschmerz auftreten. Oftedal et al. (2000) und Sandström et al. (2001) haben große Gruppen von norwegischen und schwedischen Mobiltelefonnutzern hinsichtlich bestimmter Symptome wie Kopfschmerzen, Müdigkeit, Wärmegefühl etc. im Zusammenhang mit Handygebrauch befragt. Da keine Befragung über solche Beschwerden beim Telefonieren mit dem Festnetztelefon vorliegen, können die Ergebnisse nicht ohne weiteres der Exposition gegenüber Mikrowellen zugeschrieben werden. Interessant ist die mehr als doppelt so große Zahl von Personen mit Beschwerden in Norwegen. Es wurde vermutet, dass das mit den weit größeren Funkzellen im Vergleich zu Schweden zusammenhängt, was bei GSM Handys in Norwegen zu einer durchschnittlich höheren Exposition führt. Außerdem wurde in Norwegen länger das Analogsystem genutzt. Eindeutige Zusammenhänge zwischen Intensität und Dauer der Nutzung gibt es in beiden Ländern. Einen Zusammenhang zwischen Mobiltelefonieren und Kopfschmerz fanden auch Chia et al. (2000) in einer Kohortenstudie in Singapur.

### 5.1.2 Basisstationen

Zu Basisstationen gibt es bislang nur eine kleine Zahl von Untersuchungen. Das hat mit der oben ausgeführten Ansicht zu tun, dass zuerst Mobiltelefone wegen der weit höheren Exposition untersucht werden sollten. Insgesamt liegen derzeit vier veröffentlichte Untersuchungen vor. Zwei dieser Untersuchungen haben das Auftreten von Krebserkrankungen in der Umgebung von Basisstationen untersucht und zwei weitere den Zusammenhang zwischen dem Auftreten unspezifischer Symptome und der Entfernung zu Basisstationen.

- *Eger et al. (2004): Einfluss der räumlichen Nähe von Mobilfunksendern auf die Krebsinzidenz. umwelt.medizin.gesellschaft 17:326-332.*

Niedergelassene Ärzte in der Stadt Naila (Franken, Deutschland) führten eine Studie basierend auf den Krankengeschichten von etwa 1000 Patienten (1994-2004) durch. Da es sich um eine Untersuchung ohne Fremdfinanzierung handelte und nur aus ärztlicher Verantwortung initiiert wurde, verwendete sie einfache, mit den Möglichkeiten im niedergelassenen Bereich kompatible Methoden. Als Surrogat für individuelle Expositionsmessungen wurde die Entfernung von der bzw. den Basisstationen definiert. In dem Ort Naila wurde 1993 eine Basisstation errichtet und 1997 eine zweite praktisch an derselben Stelle. Deshalb war es möglich einen Bereich von 400 Metern um diese Basisstationen zu definieren, der als Bereich höherer Exposition angesehen wurde. Der Außenbereich mit Entfernungen über 400 Metern wurde als Bereich niedrigerer Exposition aufgefasst. Innerhalb dieser beiden Regionen wurden nach Zufall Straßen ausgewählt, die als Basis für die Inspektion der Patientendateien dienten. Straßen mit Pflege- bzw. Altersheimen wurden ausgelassen. Über eine zentrale Auswertung der mit den Krankenkassen abgerechneten Daten der Hausärzte wurden nach Anonymisierung alle Krebsneuerkrankungen ermittelt und über Fremdbefunde abgesichert. Eingeschlossen wurden nur Personen, die während der Untersuchungsdauer von 10 Jahren gebietstreu waren. Auf diese Weise wurden 320 Personen in der Innenzone und 647 in der Außenzone identifiziert. Unter diesen Personen traten insgesamt 34 Krebsneuerkrankungen auf. Davon wurden 18 in der Innen- und 16 in der Außenzone verzeichnet. Allerdings waren in den ersten 5 Jahren (1994-1998) die Inzidenzen nicht unterschiedlich (5/320 gegenüber 8/647). In den Jahren 1999-2004 war die Inzidenz in der Innenzone aber etwa dreimal so hoch wie im Außenbereich (13/320 gegenüber 8/647). Dieser Unterschied war statistisch signifikant.

Diese sogenannte Naila-Studie wurde heftig wegen methodischer Mängel kritisiert. Den Ärzten, die die Studie durchgeführt haben, waren die Probleme des methodischen Ansatzes bewusst. Es muss deshalb hervorgehoben werden, dass unter den gegebenen Bedingungen die Durchführung durchaus als vorbildlich für einen explorativen Ansatz angesehen werden kann. Andererseits darf man wegen dieses explorativen Charakters die Ergebnisse nicht

überbewerten, sondern muss sie zum Anlass nehmen, die Frage eines möglichen Zusammenhangs mit Krebserkrankungen gründlicher zu studieren.

Unter den Einwänden gibt es legitime und weniger bedeutsame. Zu den letzteren zählt die Kritik, dass keine Messung der tatsächlichen Exposition stattfand. Obwohl der Zusammenhang zwischen Abstand und Immission komplex ist und im Bereich innerhalb des Punktes, an dem der Hauptstrahl den Boden trifft, keine klare Entfernungsabhängigkeit besteht, kann kein Zweifel daran bestehen, dass die durchschnittliche Exposition im Bereich innerhalb von 400 Metern höher ist als außerhalb. Es gibt aber gewiss Punkte, an denen außerhalb die Leistungsflussdichte höher ist als an bestimmten Punkten im Innenbereich. Das bedeutet, dass bei der angewandten Methode der Bereichszuordnung im Bezug auf die Exposition eine gelegentliche Fehlklassifikation vorgenommen wurde. Ein solche Fehlklassifikation kann nur zu einer Reduktion des geschätzten Risikos führen, niemals aber zu einer Überschätzung. Obwohl Messungen und sorgfältige, retrospektive Expositions-klassifikationen vor allem wegen der Untersuchung von ‚Dosis-Wirkungsbeziehungen‘ bedeutsam sind, kann deren Fehlen den explorativen Wert der Studie nicht mindern.

Zu den legitimen Einwänden zählt, dass nur kohortenbezogen die Ausgewogenheit wichtiger Störvariablen (Alter, Geschlecht, Rauchen, etc.) berücksichtigt wurde, diese aber nicht mit in die Auswertung eingingen. Das kann zu erheblichen Verzerrungen führen. Als ein Indiz wurde die deutlich gegenüber dem Durchschnitt reduzierte Inzidenz in der Außenzone angesehen. Tatsächlich ist sie unterdurchschnittlich, aber noch im Bereich der zu erwartenden Schwankungsbreite. Diese Unterschätzung in der Außenzone dürfte auf den Ausschluss von Pflege- und Altersheimen zurückgehen. Die Inzidenz in der Innenzone bleibt selbst dann signifikant erhöht, wenn man gegenüber der durchschnittlichen Inzidenz vergleicht. Obwohl im Prinzip eine Auswertung unter Berücksichtigung der wichtigsten Störvariablen auch mit den Daten der Naila-Studie möglich wäre, steht die kleine Zahl von nur 21 Krebsfällen dem entgegen.

Ein weiterer nicht zutreffender Einwand stellt eine Risikoerhöhung durch Expositionen in der Nähe von Basisstationen prinzipiell in Frage. Es wird behauptet, dass eine solche Erhöhung des Risikos mit einem in der Gesamtbevölkerung beobachtbaren Anstieg einhergehen müsste. Demgegenüber ist ins Treffen zu führen, dass nur ein kleiner Teil der Bevölkerung bereits seit 1993 gegenüber Basisstationen exponiert ist. Inzwischen gibt es zwar über 13.000 Basisstationen, dennoch ist aber der Bevölkerungsanteil, der in einem Umkreis von etwa 400 Metern um derart großzellige Basisstationen wie in Neila lebt, gering. In Österreich ist in den letzten ca. 20 Jahren bei Männern ein leichter Anstieg der Krebsinzidenz und bei Frauen eine konstante oder sogar leicht fallende Inzidenz zu beobachten. Es ist kaum möglich eine Risikoveränderung bei einem Bruchteil der Bevölkerung innerhalb des sekulären Trends zu erkennen. Deswegen ist die epidemiologische Untersuchung dieses Sachverhalts unabdingbar.

- *Wolf R und Wolf D (2004): Increased incidence of cancer near a cell-phone transmitter station. International Journal of Cancer Prevention 1(2):123-128.*

In der sogenannten „Netanya-Studie“ wurden Bewohner im Umkreis von 350 m um eine Basisstation (Area A: n=622) und Bewohner in einer vergleichbaren Region ohne Basisstation (Area B: n=1222) untersucht (Studienperiode 1997-1998; beginnend 1 Jahr nach Inbetriebnahme). Nach den Angaben der Autoren sind die Regionen hinsichtlich Umweltfaktoren, Arbeitstätigkeiten der Bevölkerung und soziodemografischen Charakteristika vergleichbar. Im Nahbereich der Antenne traten innerhalb eines Jahres 8 Krebsfälle auf (7 bei Frauen) und in der Vergleichsregion 2 (je ein Mann und eine Frau). Die Rate in der Vergleichsregion war nur etwa halb so hoch wie in der gesamten Stadt, was allerdings wegen der kleinen Population keinen signifikanten Unterschied ergibt. Im Gebiet A um die Basisstation war die Rate etwa viermal so hoch wie in der gesamten Stadt. Da nur ein Mann an Krebs erkrankt war und der Erwartungswert 0.7 beträgt, lässt sich hier keine Aussage ableiten. Bei Frauen traten 7 Fälle auf (allerdings einer in situ), was gegenüber dem Erwartungswert von 0.8 Fällen eine signifikante Erhöhung der Inzidenz darstellt. Die gemessenen Leistungsflussdichten lagen in den Wohnungen der Krebspatienten zwischen 3 und 5 mW/m<sup>2</sup>.

Wenngleich die Zahl an Krebsfällen in Region A unerwartet hoch ist, kann man wie bei der Naila-Studie keinen direkten Zusammenhang mit der Exposition durch die Emissionen der Basisstation herstellen. Es handelt sich ebenso wie bei der Neila-Studie um einen explorativen, ökologischen Ansatz. Es wurden zwar Messungen in den Wohnungen der Krebspatienten durchgeführt, das reicht aber nicht aus, um den Zusammenhang zu sichern. Beide Studien unterstreichen, dass auch Basisstationen bzgl. des Krebsrisikos untersucht werden müssen. Die WHO hat nun diese Problematik ebenfalls zu den Forschungsagenden hinzugefügt und Randbedingungen für eine epidemiologische Untersuchung analysieren lassen (Neubauer et al. 2005). Unserer Ansicht nach wird allerdings dabei den dosimetrischen Problemen zuviel Augenmerk geschenkt. Die Lösung dieser Probleme verzögert nur den Beginn solcher Studien, ohne dass schlüssige Argumente dafür vorgebracht worden wären, bei dieser Umwelteinwirkung anders vorzugehen, als man das bisher bei anderen Expositionen gemacht hat.

Es gibt zahlreiche anekdotische Berichte über Beeinträchtigungen des Wohlbefindens in zeitlichem Zusammenhang mit der Inbetriebnahme von Basisstationen. Da es viele tausend Basisstationen gibt, die in einer Zeitspanne von wenigen Jahren errichtet wurden, ist es offensichtlich, dass Beschwerden rein zufällig in zeitlichem Zusammenhang mit deren Errichtung auftreten müssen. Es ist aber auch nicht ausgeschlossen, dass einige dieser Beschwerden in direktem Zusammenhang mit den Immissionen der Basisstationen stehen. Um diese Frage zu untersuchen, sind bisher drei Studien durchgeführt worden. Zwei davon sind bereits veröffentlicht. Eine weitere solche Untersuchung wurde von uns in Wien und

Kärnten durchgeführt. Diese Studie ist als Veröffentlichung eingereicht und derzeit nur in einem Tagungsbericht enthalten.

- *Santini et al. (2003): Survey study of people living in the vicinity of cellular phone base stations. Electromagnetic Biology and Medicine 22:41-49.*

Mittels Fragebogenuntersuchung, an der 530 Personen teilnahmen, wurde die Häufigkeit von unspezifischen Symptomen in Abhängigkeit von der selbst eingeschätzter Distanz zwischen Wohnort und der nächsten Mobilfunk-Basisstation untersucht. Es zeigte sich eine Zunahme der unspezifischen Symptome mit der selbst eingeschätzten Nähe zum Mobilfunksender für Müdigkeit, Reizbarkeit, Kopfschmerzen, Schlafstörungen, depressive Tendenzen, Konzentrationsschwierigkeiten, Gedächtnisverlust und Schwindel.

Die Rekrutierung der Studienteilnehmer erfolgte durch Massenmedien mit der Ankündigung, dass eine Studie zu gesundheitlichen Auswirkungen von Basisstationen gemacht werde. Die dadurch sich ergebende Selbstselektion führt vermutlich dazu, dass sich eher Personen melden, die Beschwerden haben und/oder diese auf Mobilfunksendeanlagen zurückführen. Eine Übertragung der Ergebnisse auf die Gesamtbevölkerung ist daher quantitativ nicht möglich.

- *Navarro et al. (2003): The microwave syndrome: a preliminary study in Spain. Electromagnetic Biology and Medicine 22:161-169.*

In dieser Querschnittstudie wurden Anwohner im Umfeld zweier GSM-Basisstationen in La Nora (Spanien) untersucht. Die Rekrutierung der Teilnehmer erfolgte über Selbstselektion. Der verwendete Fragebogen war analog dem von Santini et al. (2003) verwendeten. Die Leistungsflussdichte wurde breitbandig (400-3000 MHz) über dem Bett gemessen. Die Spektrumanalyse ergab eine Dominanz zweier GSM-900/1800 MHz-Basisstationen. Eine Aufteilung der Exponierten in eine Gruppe mit einer Entfernung von <250m (mittlere Exposition 0,1 mW/m<sup>2</sup>) und eine Gruppe mit einer Entfernung >250m Distanz (mittlere Exposition 1,1 mW/m<sup>2</sup>) zur Basisstation (n=101) zeigte für acht Symptome einen signifikant höheren Score in der Gruppe mit der höheren Feldstärke: Gereiztheit, Kopfschmerzen, Übelkeit, Appetitverlust, Unwohlsein, Schlafstörung, Depression, Schwindelgefühl.

Diese Studie wurde später mittels logistischer Regression (n=94) auf individueller Ebene analysiert (Oberfeld et al. 2004). Es fanden sich signifikante Beziehungen zwischen den gemessenen Feldstärken und 13 Symptomen in einer Expositions-Wirkungs-Beziehung. Die von den Studienteilnehmern geschätzte Entfernung zwischen Wohnung und Mobilfunksender wurde als Maß für mögliche Befürchtungen ins Modell aufgenommen und änderte das statistische Modell kaum.

- *Hutter et al. (2002): Mobile telephone base-stations: effects on health and wellbeing. Biological Effects of EMFs: 2<sup>nd</sup> International Workshop (Rhodos, 7.-11.10.2002):344-351.*

In dieser Querschnittstudie wurden an je fünf Standorten in Kärnten und Wien 365 Personen untersucht (telefonisch bzw. mittels Katasterplan rekrutiert, Zufallsstichprobe von Haushalten), die länger als ein Jahr in der Nähe einer Mobilfunk-Basisstation lebten. Den Untersuchungspersonen war nicht bekannt, dass es sich um eine Untersuchung von Basisstationen gehandelt hat. Neben elektromagnetischen Feldern wurden auch Luftschadstoffe und Lärm gemessen. Die Exposition der Studienteilnehmer gegenüber hochfrequenten EMF wurde frequenzselektiv im Schlafzimmer gemessen (336 Messungen). Das Maximum für die Summe der GSM-Mobilfunkbänder betrug 1,4 mW/m<sup>2</sup>.

Mittels einer computerisierten Vorgabe von Tests der kognitiven Leistungsfähigkeit (u.a. Gedächtnisleistung, Wahrnehmungs-Reaktionsgeschwindigkeit) und der Fragebögen konnte eine weitgehende Ausschaltung eines Versuchsleitereinflusses erzielt werden. Neben der Beschwerdeliste von Zerssen und der Pittsburgh Sleeping Scale wurden Befürchtungen über Auswirkungen verschiedener Umweltfaktoren erfasst.

Es konnten signifikante Zusammenhänge der gemessenen Mobilfunk-Immissionen mit einer Reihe von Beschwerden, Schlafparametern und kognitiven Leistungen ermittelt werden. Nach Ausschaltung des Einflusses konfundierender Variablen (insbesondere Alter, Bildung und Befürchtungen nachteiliger Auswirkungen) blieben lediglich Herz-Kreislauf-Beschwerden (Score aus den Symptomen Müdigkeit, Kurzatmigkeit, Herzpochen/Herzjagen, rasche Erschöpfung, kalte Füße und Schwindelgefühl), Kopfschmerzen und Konzentrations-schwierigkeiten sowie tendenziell eine erhöhte Wahrnehmungsgeschwindigkeit mit den Immissionen assoziiert.

Auffällig ist, dass in allen drei Untersuchungen nahezu dieselben Beeinträchtigungen des Wohlbefindens gefunden wurden. Wie letztere Untersuchung zeigt, sind allerdings einige dieser Beschwerden stärker mit den Befürchtungen nachteiliger Auswirkungen der Basisstation als mit den tatsächlichen Expositionen assoziiert.

## **5.2 Provokationsstudien**

Experimentelle Untersuchungen am Menschen mit (kurzzeitiger) Exposition gegenüber EMF, wie sie von Mobiltelefonen ausgehen, sind inzwischen zahlreiche zu verschiedenen Endpunkten durchgeführt worden. Dazu zählen Untersuchungen zu Auswirkungen auf den Schlaf, das Immunsystem, das Herz-Kreislaufsystem, das Wach-EEG, kognitive Leistungen und das Befinden. Nur eine einzige, bisher erst als Forschungsbericht vorliegende Untersuchung liegt zu Basisstationen vor.



## 5.2.1 Mobiltelefone

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die zu Mobiltelefonexpositionen vorliegenden Untersuchungen. Einige dieser Untersuchungen können, da sie im Fernfeld durchgeführt wurden, mit Vorbehalt auch für die Beurteilung von Basisstationen herangezogen werden.

Tab. 3: Überblick über Provokationsstudien zu Mobiltelefonexposition.

Studie	Ergebnis
<b>1. Schlafuntersuchungen</b>	
Mann & Röschke 1996	Verkürzung der Einschlafzeit und des REM-Schlafs.
Wagner et al. 1998	Anteil REM-Schlaf war deutlich, Einschlafzeit geringfügig verkürzt, die REM-Latenz verlängert. Effekte erreichten nicht das einseitige 5% Signifikanzniveau.
Borbely et al. 1999	Verkürzung der Einschlafzeit und Erhöhung der spektralen Power in non-REM-Phasen.
Fritzer et al. 2000	Kein Einfluß auf Schlafparameter.
Huber et al. 2000	Einflüsse auf das Schlaf-EEG (9-14 Hz)
Wagner et al. 2000	Keine Effekte auf Schlafvariablen und Schlaf-EEG.
Lebedeva et al. 2001	Anstieg der EEG-Power (Alpha-Aktivität); Einfluß auf Schlafstadien.
Huber et al. 2002	Exposition erhöht regionalen zerebralen Blutfluss im dorsolateralen präfrontalen Cortex ipsilateral zur Seite der Exposition. Anstieg vor dem Einschlafen der EEG-Power (Alpha-Aktivität) bzw. im Spindelfrequenzbereich im Non-REM-Schlafstadium 2.
Huber et al. 2003	Topografische Analyse (Daten Huber et al. 2002) zeigt, dass unilaterale EMF-Exposition (li o. re) das Non-REM-Schlaf-EEG in beiden Hirnhälften verändert.
<b>2. Immunsystem</b>	
Mann et al. 1998	Geringfügige transiente Erhöhung des Cortisol-Blutspiegels während nächtlicher Exposition.
de Seze et al. 1998	Signifikante Abnahme des Blutspiegels von Thyreotropin am Morgen bei täglich 2-stündiger Exposition (nach Beendigung einer 4-wöchigen Exposition).
de Seze et al. 1999	Zirkadianes Melatonin-Profil unverändert.
Radon et al. 2001	Keine signifikanten Effekte auf Melatonin-, Kortisol-, Neopterin und IgA-Speichelkonzentrationen.
Braune et al. 2002	Keine signifikanten Effekte auf Kortisol-, Norepinephrin-, Epinephrin-, und Endothelin-Konzentrationen in venösem Blut.
Burch et al. 2002	Verminderte Konzentration des Melatonin-Metaboliten 6-OHMS (6-Hydroxymelatonin Sulfat) im Harn bei Arbeitern in einem Elektrizitätswerk (>25 Min. mobiles Telefonieren pro Tag).
<b>3. Wach-EEG</b>	
Reiser et al. 1995	Zunahme der EEG-Power in den Frequenzbändern Alpha2, Beta1 und Beta2 (während und nach der Exposition). Die Veränderungen traten teilweise erst um 15 Minuten verzögert nach der Exposition auf.
Röschke & Mann 1997	Keine EEG-Veränderungen.

Studie	Ergebnis
Eulitz et al. 1998	Signifikante Abweichungen für die ERD-Spektren (ipsilateral zur Seite der Exposition) im Frequenzbereich 19-31 Hz: Beta-Band); traten mit einer Verzögerung von 260 bis 380 Millisekunden auf.
Freude et al. 1998	Sign. Erniedrigung des Bereitschaftspotenzials (zentrale, temporo-parietale-okzipitale Hirnregionen) bei komplexen, kognitiven Test (visuell), kein Effekt auf das Bereitschaftspotenzial bei einfachen Finger-Bewegungsaufgaben.
Urban et al. 1998	Kein Effekt auf das visuell evozierte Hirnpotential (VEP) bei jungen Erwachsenen.
Hladky et al. 1999	Kein Effekt auf das visuell evozierte Hirnpotential (VEP) bei jungen Erwachsenen.
Freude et al. 2000	Beeinflussung von bestimmten komplexen Aufgaben vorgelagerten langsamen Hirnpotentialen im Vergleich zur Scheinexposition.
Hietanen et al. 2000	Keine EEG-Veränderungen während Exposition.
Krause et al. 2000	ERD/ERS Antwort im 6-8 Hz und 8-10 Hz Band verändert.
Lebedeva et al. 2000	Anstieg der Multikanal-Korrelationsdimension D2 unmittelbar nach Expositionsbeginn.
Jech et al. 2001	Evozierte Potentiale verändert.
Croft et al. 2002	Signifikant Erniedrigung der Amplitude des Delta-Bandes in rechten Hemisphäre, signifikante Erhöhung der Amplitude des Alpha-Bandes am Hinterkopf, nicht aber im Stirnbereich. Zusätzlich nahm die Amplitude im Alpha-Band mit zunehmender Expositionsdauer zu.
Kramarenko et al. 2003	Reversible Veränderung des EEG Powerspektrums in Hirnarealen nahe der Antenne. Slow-Wave Aktivität (2,5-6,0 Hz) nach 20-40 s (bei Kindern nach 10-20s) mit einer Dauer von 1 s (contralateral frontal und temporal).
<b>4. Herz-Kreislaufsystem</b>	
Braune et al. 1998	Signifikante Effekte auf systolischen und diastolischen Blutdruck in Ruhe, keine signifikanten Effekte auf subjektive Parameter.
Mann et al. 1998	Geringfügige transiente Erhöhung des Cortisol-Blutspiegels während nächtlicher Exposition.
Braune et al. 2002	Keine Erhöhung der vasokonstriktiven Aktivität oder anderer messbaren Veränderungen im autonomen Nervensystem.
Huber et al. 2003	Herzfrequenz und -variabilität wurden nicht konsistent beeinflusst.
<b>5. Befinden</b>	
Koivisto et al. 2001	In allen Gruppen häufiger Kopfschmerzen am Testende als am Anfang (unabhängig von Expositionen).
Hietanen et al. 2002	Provokationsstudie mit Elektrosensiblen. Anzahl von Symptomen waren in Phase ohne Expos. häufiger, zeigten sich z.T. vor Testbeginn.
<b>6. Kognitive Leistung/Wahrnehmungen</b>	
Freude et al. 1998	Signifikante Änderungen bei den ereignisvorgelagerten langsamen Hirnpotentialen
Preece et al. 1999	Choice reaction time stärker verkürzt bei analoger als bei digitaler Exposition.
Freude et al. 2000	Reaktionen und Genauigkeit („accuracy“) in den kognitiven

Studie	Ergebnis
	Aufgaben nicht verändert.
Fritzer et al. 2000	Keine Effekte auf Aufmerksamkeits- und Gedächtnisfunktionen.
Koivisto et al. 2000	Verbesserungen beim Kopfrechnen („mental arithmetic task“) und kürzere Reaktionszeiten.
Krause et al. 2000	Einfluss auf das EEG während Gedächtnistests. Einfluss auf das neuronale oszillatorische System während kognitiver Aufgaben.
Jech et al. 2001	Verkürzung der Reaktionszeit um rund 20 ms bei Narkoleptikern in Mustererkennungstests.
Lee et al. 2001	Bessere Performance von Handybenutzern im Teenageralter bei einem von 3 Aufmerksamkeitstests.
Maier 2001	Zeit für die Bestimmung der Ordnungsschwelle (zeitlicher Abstand zweier auditiver Reize, bei dem es dem Probanden gerade noch gelingt, die zeitliche Abfolge der Seiten [li/re bzw. re/li] fehlerfrei zu bestimmen). 9 von 11 Probanden benötigten nach Exposition länger für die Bestimmung der Ordnungsschwelle.
Edelstyn & Oldershaw 2002	Signifikante Unterschiede nach 15 Min. Exposition bei 2 Aufmerksamkeitstests und einem Prozessgeschwindigkeitstest (i.S. einer Verbesserung durch EMF).
Croft et al. 2002	EEG-Veränderungen korrelieren mit der Stimmung während Exposition.
Haarala et al. 2003	Abnahme des Blutflusses in den für das Hören zuständige Gehirnregionen; keine Veränderung in den am meisten exponierten Regionen.
Smythe & Costall 2003	Geringere Fehlerrate bei gegenüber Mobiltelefon exponierten (räumliche Aufgabe) männlichen Probanden; kein derartiger Effekt bei weiblichen Versuchspersonen.
Preece et al. 2005	Tendenz für kürzere Reaktionszeiten (kognitive Tests) bei Kindern (10-12 Jahre) während Exposition gegenüber Mobiltelefon (0,025 und 0,25 W).
Schmid et al. 2005	Unter 1,97 GHz UMTS Expositionsbedingungen (0,63 und 0,06 W/kg - über 1g gemittelte SAR) kein Effekt auf Parameter der visuellen Wahrnehmungsfähigkeit.

## 5.2.2 Basisstationen

Zu Basisstationen gibt es derzeit nur eine experimentelle Provokationsstudie:

*Zwamborn et al. (2003): Effects of global communication system radio-frequency fields on well being and cognitive functions on human beings with and without subjective complaints. TNO-report FEL-03-C148. The Hague, Md.: TNO Physics and Electronic Laboratory.*

Bei dieser Studie wurden im Doppelblind-Ansatz Teilnehmer einzeln in einer geschirmten Expositions-kammer gegenüber hochfrequenter Strahlung exponiert. Die Exposition der Probanden betrug 2,65 mW/m<sup>2</sup> (Spitzenwert). Von den drei Signalen (GSM 900MHz und 1.800MHz, UMTS 2.140MHz) wurden pro Proband nur jeweils zwei Signale verwendet sowie

eine Scheinexpositionsphase. Die Einwirkzeit des Feldes betrug 15 Minuten mit einer Pause von 30 Minuten.

Es wurden zwei Gruppen zu je 36 Personen untersucht: Gruppe A wurde unter Personen rekrutiert, die sich als sensitiv gegenüber den Emissionen von Basisstationen bezeichnet hatten, Gruppe B unter Personen, die keine Beschwerden im Zusammenhang mit EMF bemerkt haben. Beide Gruppen erhielten einen Fragebogen mit 23 Einzelfragen zu ihrem Wohlbefinden.

Beim Summenscore über alle Fragen (Q1-Q23) zeigte sich bei der Exposition gegenüber dem UMTS-Signal bei beiden Gruppen eine signifikante Zunahme. Bei Gruppe B erhöhte sich der Summenscore von 2,44 (Scheinexposition) auf 3,08 (UMTS), bei der Gruppe A von 7,47 auf 10,75. Bei den 23 Einzelfragen zum Wohlbefinden zeigte sich bei der Gruppe A bei 8 Fragen nach UMTS Exposition eine signifikante Verstärkung des Beschwerdegrades im Vergleich zur Scheinexposition: Schwindel; Nervosität; Brustschmerzen oder Atemwegsbeschwerden oder das Gefühl, nicht genug Luft zu haben; dass sich Körperteile taub oder kribbelnd anfühlen; dass sich Teile des Körpers schwach anfühlen; sich nicht konzentrieren zu können; leicht zerstreut zu sein; wenig Aufmerksamkeit für etwas zu haben. Bei den anderen Expositionen (GSM 900 und GSM 1800) traten zwar bei einzelnen Symptomen Unterschiede auf, eine systematische Wirkung war aber nur bei UMTS zu verzeichnen.

Berücksichtigt man die kurze Expositionsdauer, dann erscheinen die Effekte einer Exposition, die mit einer SAR im Bereich des Schädels unter  $100 \mu\text{W}/\text{kg}$  und einer Ganzkörper-SAR von Bruchteilen von  $\text{nW}/\text{kg}$  einhergeht, erstaunlich. Deshalb wurde diese Studie auch mit großem Misstrauen aufgenommen. Derzeit laufen Wiederholungsstudien.

### **5.3 Tierversuche**

Derzeit liegen insgesamt 28 mittel- und langfristige Tierversuche zur Frage der Kanzerogenität hochfrequenter EMF vor. Diese Untersuchungen waren zunächst bis 1997 Mikrowellenexpositionen von 2,45 GHz gewidmet. Einerseits weil diese Frequenz nahe dem Absorptionsmaximum bei den verwendeten Versuchstieren (Mäuse und Ratten) liegt und andererseits weil diese Frequenz beim Mikrowellenherd verwendet wird und daher keinen Einschränkungen hinsichtlich der Funkstörung unterliegt. Ab 1997 beschäftigen sich fast alle Untersuchungen mit verschiedenen Anwendungen des Mobilfunks.

Auffallend ist, dass seit der aufsehenerregenden Studie von Repacholi et al. (1997), die ergab, dass eine Exposition niedriger Intensität von zweimal einer halben Stunde täglich gegenüber einem GSM-ähnlichen Signal die Lymphomrate bei Mäusen mehr als verdoppelt,

keine der veröffentlichten Untersuchungen mehr eine statistisch signifikante Erhöhung der Krebsrate bei den Versuchstieren erbrachte, während von den 9 vorher erschienenen Studien 7 einen Effekt sichern konnten. Dieser merkwürdige Umstand kann mehrere Gründe haben: erstens wurde, wie oben angeführt, die Exposition insofern geändert, als die Versuchstiere in der Mehrheit der Untersuchungen außerhalb des Bereichs maximaler Absorption bestrahlt wurden; zweitens könnte die sorgfältige Beachtung dosimetrischer Bedingungen und insbesondere die Vermeidung von Intensitätsschwankungen, die zu einer erheblichen Gewebserwärmung führen könnten, beigetragen haben; der Hauptgrund dürfte aber darin liegen, dass man mehrheitlich völlig ungeeignete Modelle verwendet hat.

Letzterer Sachverhalt kann gut am Vergleich der Untersuchungen von Repacholi et al. (1997) mit dem von Anane et al. (2003) exemplifiziert werden. Man muss dabei vorausschicken, dass die Untersuchung des kanzerogenen Potenzials von HF-EMF im Tierversuch grundsätzliche Probleme birgt.

Bei der Untersuchung von möglichen Kanzerogenen geht man im Tierversuch üblicherweise so vor, dass man als höchste Dosis jene wählt, die gerade noch nicht akut toxisch ist. Ausgehend von dieser höchsten Dosis werden dann progressiv niedrigere Dosen untersucht. Dabei werden im Allgemeinen kaum so niedrige Werte erreicht, wie sie in der menschlichen Umwelt vorkommen. Die Krebsinzidenzen bei diesen niedrigen Dosen werden dann durch Extrapolation der Dosis-Wirkungsbeziehung ermittelt.

Bei HF-EMF kann man so nicht vorgehen, weil eine Gewebserwärmung verhindert werden muss und daher Intensitäten eingesetzt werden müssen, die nur geringfügig höher oder gleich hoch sind, wie sie auch bei der Exposition des Menschen (z.B. beim Mobiltelefonieren) vorkommen. Da Versuchstiere im Allgemeinen an Krebs auch nicht häufiger als der Mensch erkranken, müsste man etliche 1000 Tiere exponieren, nur um einige wenige Krebsfälle zu finden. Daher müssen Methoden eingesetzt werden, die von vorneherein eine starke Erhöhung der Krebshäufigkeit bei den Versuchstieren bewirken. Dazu gibt es im Wesentlichen drei Methoden: man kann Versuchstiere verwenden, die aufgrund genetischer Defekte oder der Wirkung eines transformierenden Virus eine hohe Rate spontaner Karzinome entwickeln; man kann ein bekanntes Kanzerogen einsetzen und dann die zusätzliche Wirkung des HF-EMF ermitteln; und schließlich kann man Krebszellen in die gesunden Versuchstiere implantieren. Alle diese Methoden wurden bereits eingesetzt. Da jedoch nicht bekannt ist, in welcher Phase der Krebsentwicklung die Exposition gegenüber HF-EMF ihre Wirkung (wenn überhaupt) entfaltet, andererseits aber sicher ist, dass diese Wirkung langsam eintritt und relativ schwach ist, gibt es mehrere Voraussetzungen dafür, ein solches Tiermodell von vorne herein als geeignet oder nicht geeignet zu beurteilen. Zunächst muss die Zahl der Versuchstiere in jeder Gruppe groß genug sein, um eine Erhöhung des Risikos im erwarteten Ausmaß (etwa einer Verdopplung)

statistisch mit hoher Wahrscheinlichkeit sichern zu können. Dazu sind je nach der Überlebensrate in der nicht exponierten Gruppe zwischen 100 und 300 Tiere pro Versuchsbedingung erforderlich. Zweitens muss, da eine Wirkung in keiner der Phasen des malignen Prozesses ausgeschlossen werden kann, das Modell so angelegt sein, dass erst relativ spät im Leben der Tiere die ersten Fälle auftreten. Drittens darf die dann eintretende Sterberate nicht zu steil ansteigen, um auch einen Einfluss auf das Tumorwachstum und die Progression ermitteln zu können.

Vergleichen wir nun unter Berücksichtigung dieser Kriterien die oben genannten Untersuchungen: Repacholi et al. (1997) haben transgene Mäuse verwendet, die eine erhöhte Spontanrate an Lymphomen aufweisen. Es wurde erwartet, dass etwa 18% der nicht exponierten Tiere spontan im Laufe der 18 Monate Expositionszeit Lymphome entwickeln würden. Unter der Annahme einer Verdopplung der Inzidenz sind 100 Tiere zu untersuchen und das hat man auch getan. In der Untersuchung von Anane et al. (2003) hat man Ratten untersucht, bei denen man mittels DMBA Brustkrebs initiiert hat. Bei dieser Methode entwickeln praktisch alle Tiere innerhalb von etwa drei Monaten einen Tumor. Unter diesen Voraussetzungen müsste man etwa 150 Tiere pro Gruppe testen, um einen Effekt der erwarteten Größenordnung ermitteln zu können. Tatsächlich untersucht hat man 16 Tiere pro Gruppe. Hinsichtlich des Auftretens der ersten Tumore kann man feststellen, dass bei der Untersuchung von Repacholi et al. (1997) die ersten Tiere etwa drei Monate nach Expositionsbeginn Lymphome entwickelt hatten, zu einem Zeitpunkt, bei dem der Versuch von Anane et al. (2003) bereits beendet war, da praktisch alle Tiere schon verstorben waren.

Da die methodischen Mängel so gravierend sind, lässt sich trotz der großen Zahl von inzwischen durchgeführten Tierversuchen eine Aussage auf Basis dieser Evidenz nicht begründen. Leider ist selbst eine Wiederholungsuntersuchung (Utteridge et al. 2002) der Studie von Repacholi et al. (1997) wegen bisher nicht aufgeklärter Ungereimtheiten (siehe Goldstein et al. 2002; Lerchl 2002; Kundi 2002, 2003) nicht geeignet, zur grundsätzlichen Frage, ob HF-EMF kanzerogen sind, etwas beizutragen.

Andere Fragestellungen, die in Tierversuchen behandelt wurden, betreffen die Teratogenität, Wirkungen auf das Verhalten sowie Auswirkungen auf die Blut-Hirn-Schranke.

#### **5.4 *In vitro*-Untersuchungen**

Untersuchungen in verschiedenen Zellsystemen wurden vor allem zur Frage der Genotoxizität durchgeführt. Dabei fanden unterschiedliche Methoden mit verschiedenen Endpunkten Anwendung. Tabelle 4 gibt einen Überblick über diese Untersuchungen. Nur eine Untersuchung exponierte die Zellen bei einer Basisstation.

Tab. 4: Überblick über *in vitro*-Untersuchungen zur Frage der Gentoxizität von Mobilfunkexpositionen.

Studie	Zellen	Exposition	Dauer	Ergebnis
Malyapa et al. 1997	Glioblastomzellen, Fibroblasten	836-848 MHz 0,6 W/kg	2-24 h	kein Effekt ?
Stagg et al. 1997	Gliomazellen	836 MHz 0,15-59 mW/kg	4h-14d	sign. Effekt
Maes et al. 1997	Lymphozyten	GSM 935 MHz 0,3-0,4 W/kg	2h	teilw. Sign.
Antonopoulos et al. 1997	Lymphozyten	GSM900/1800 0,2 /1,7 W/kg	48-68h	kein Effekt
Ivaschuk et al. 1997	Pheochromocytomzellen	836,55 MHz 0,26-26 mW/kg	20-100 min	sign. Effekt
Cain et al. 1997	Fibroblasten	837 MHz 0,15-15 mW/kg	28d	teilw. Sign.
Phillips et al. 1998	T-Lymphoblasten	814-837 MHz 2,4-26 W/kg	1-11 h	sign. Effekt
Goswami et al. 1999	Fibroblasten	836/848 MHz 0,6 W/kg	4d	teilw. Sign.
Velizarov et al. 1999	Amnionzellen	GSM 960 MHz 2,1 mW/kg	30 min	sign. Effekt
Maes et al. 2001	Lymphozyten	900 MHz + Mitomycin C oder Röntgenstrahlung 10 W/kg	2 h	kein Effekt
Li et al. 2001	C3H10T(1/2)	848 MHz CDMA 836 MHz FDMA 3.2-5.1 W/kg	2/4/24 h	kein Effekt
Vijayalaxmi et al. 2001	Lymphozyten	837 MHz FDMA 4,4-5 W/kg	24h	kein Effekt
Vijayalaxmi et al. 2001	Lymphozyten	848 MHz CDMA 4,9-5 W/kg	24h	kein Effekt
Tice et al. 2002	Lymphozyten	1910 MHz 1,6-10 W/kg	3 u. 24h	sign. Effekt
Bisht et al. 2002	C3H10T*	837 MHz FDMA 836 MHz CDMA 3,2/5 W/kg	3/8/16/24 h	kein Effekt
d'Ambrosio et al. 2002	Lymphozyten	1748 MHz 6 W/kg	10 min	sign. Effekt
McNamee et al. 2002	Leukozyten	1900 MHz 4 W/kg	30 min/ 1-25 d	kein Effekt
Zhang et al. 2002	Lymphozyten	2,45 GHz + Mitomycin C 50 W/m <sup>2</sup>	2 h	sign. Effekt

Takahashi et al. 2002	Hirngewebe	1,5 GHz 0,67/2 W/kg	90 min/d 1 Mo	kein Effekt
Mashevich et al. 2003	Lymphozyten	830 MHz 1.6-8.8 W/kg	72 h	sign. Effekt
Zeni et al. 2003	Lymphozyten	900 MHz GSM 0,2/1,6 W/kg	1 h/ 3 d 6 min	kein Effekt

*Maes et al. (1996): 954 MHz microwaves enhance the mutagenic properties of mitomycin. Environ Mol Mutagen 28(1):26-30.*

Diese Studie möchten wir besonders hervorheben, weil sie die einzige Untersuchung ist, die unmittelbar an einer GSM-Basisstation durchgeführt wurde. In diesem Experiment wurden menschliche Lymphozyten zwei Stunden lang dem Feld einer GSM Basisstation exponiert. Es fand sich hinsichtlich der toxischen Wirkung ein synergistischer Effekt der Feldexposition mit dem Genotoxin Mitomycin C. Diese Untersuchung ist auch deshalb von besonderer Relevanz, weil sie den Aspekt kombinierter Expositionen ins Zentrum der Betrachtung stellt. Diese Ergebnisse konnten unter Laborbedingungen nicht repliziert werden (Maes et al. 1997; Maes et al. 2001).

## 6 Umweltmedizinische Beurteilung

Jede der hier erwähnten Studien für sich genommen lässt noch keinen Schluss auf eine gesundheitliche Gefährdung durch HF-Felder des modernen Mobilfunks zu. Sie belegen jedoch insgesamt biologische Wirkungen derartiger Felder, die wahrscheinlich nicht mit dem Erwärmungsansatz erklärt werden können. Obwohl zweifellos ein biologischer Effekt noch keinen Hinweis auf ein Gesundheitsrisiko bedeutet (ICNIRP, 1998), kann die Zurückweisung einer gesundheitlichen Relevanz nur auf Basis des Wirkmechanismus erfolgen, der den Effekten zugrunde liegt. Gerade das derzeitige Fehlen eines umfassenden Verständnisses dieser biologischen Effekte sollte aber zur Vorsicht mahnen. Es ist deshalb unserer Ansicht nach **von einem vorsorgeorientierten Ansatz** ausgehend unumgänglich, diese Befunde ernst zu nehmen. Wie unsere kurze Übersicht zeigt, mangelt es aber der Forschung an Linie und Konsequenz. Insbesondere gibt es zu wenige Untersuchungen zu Auswirkungen subakuter und chronischer Exposition, weiters fehlen Tierversuche, die den üblichen toxikologischen Kriterien entsprechen und schließlich sind die bisher beobachteten Effekte systematisch hinsichtlich der Bedingungen, unter denen sie auftreten oder fehlen weiter zu verfolgen.

Die Praxis der meisten bisher veröffentlichten Übersichten, alle Arten hochfrequenter Felder so zu behandeln, als handelte es sich um ein und dieselbe Exposition, ist zumindest fragwürdig. Sie gehen damit implizit von der Annahme aus, dass der Wirkungsmechanismus für alle HF EMF gleich ist. Wir haben deshalb fast ausschließlich Untersuchungen



herangezogen, die Auswirkungen von Expositionen des modernen Mobilfunks zum Gegenstand hatten. Aber selbst dieser Bereich ist heterogen, weil die verschiedenen Mobilfunkstandards sich in wesentlichen Aspekten unterscheiden.

Schließlich ist darauf hinzuweisen, dass die Exposition gegenüber Mobilfunk-Basisstationen bisher überhaupt kaum untersucht wurde. Da im Allgemeinen die Immission einer Basisstation um einen Faktor 1000 oder mehr unterhalb typischer Expositionen eines Mobiltelefons liegen, andererseits die Expositionen andauernd und langfristig sein können, kann man nicht ohne Einschränkungen von Untersuchungen, die Auswirkungen des Handys gewidmet waren, selbst wenn sie im Fernfeld erfolgten, auf Wirkungen von Basisstationen schließen.

Diese Untersuchungen sind nicht ausreichend, um ein Langzeitrisiko nachzuweisen. Dennoch sind sie unter Berücksichtigung der epidemiologischen Befunde und der Kurzzeitexperimente am Menschen geeignet zu empfehlen, bei der Exposition mit HF-Feldern des Mobilfunks dem **ALARA** („As Low As Reasonable Achievable“) und **ALATA Prinzip** („As Low As Technical Achievable“) zu folgen.

Aus Vorsorgegründen ist aus unserer Sicht schon jetzt für die erwähnten Expositionsbedingungen **eine deutliche Absenkung des Richtwerts** und/oder die **Anwendung von Minimierungsstrategien zu fordern**. So wie dies auch der Oberste Sanitätsrat empfohlen hat (2001).

## 7 Gutachten

Für die Ableitung von Expositionskriterien ist die vorliegende Evidenz wie erwähnt nicht ausreichend. Die niedrigsten Werte bei denen akute Wirkungen gefunden wurden, liegen im Bereich einer lokalen SAR von etwa 40-50 mW/kg. Das entspricht einer Ganzkörper-SAR von einem 20stel dieses Wertes, also 2-2.4 mW/kg. Da die meisten dieser Untersuchungen im Nahfeld durchgeführt wurden, ist aber eine Übertragung auf die Fernfeldexposition einer Basisstation problematisch. Bei der einzigen experimentellen Untersuchung mit Probanden und einer Exposition durch eine Basisstationsantenne betrug die maximale SAR unter 0.1 mW/kg. Bei Anwendung eines Unsicherheitsfaktors von 10 für interindividuelle Unterschiede würde dieser, bei einer nach Selbsteinschätzung sensitiven Untergruppe festgestellte Wert, bei der ein Effekt festgestellt werden konnte, den niedrigsten Effektwerten bei Probanden, die überwiegend einer Nahfeldexposition ausgesetzt waren, entsprechen. Bei Anwendung eines Sicherheitsfaktors von 3 für den Übergang von einem LOAEL auf den NOAEL ergäbe sich aus diesen Untersuchungen ein Wert von etwa 2-4 mW/m<sup>2</sup>. (Der Wert von 0.1 mW/kg entspricht im Frequenzbereich von 900 bis 2100 MHz einer Leistungsflussdichte von 6-11 mW/m<sup>2</sup>.) Man muss aber berücksichtigen, dass die genannten Studien noch nicht hinsichtlich

ihrer Konsistenz überprüft wurden und daher eine solche Ableitung nur den Charakter einer vorläufigen Abschätzung haben kann.

Unter der Annahme, dass keine Schwelle besteht, könnte eine Ableitung auf Basis des Unit-Risk Konzeptes erfolgen. Allerdings gibt es keine Daten zu Dosis-Wirkungsbeziehungen weder aus Tierversuchen noch epidemiologischen Studien. Die beiden Untersuchungen in der Umgebung von Basisstationen (die Naila-Studie und die Netanja-Studie) können für die Abschätzung nicht herangezogen werden, weil einerseits nur die Entfernung von der Basisstation berücksichtigt wurde und andererseits, weil die methodischen Probleme noch keine Zurechnung der ermittelten Risikoerhöhung zur Emission der Basisstation erlauben.

**Vom Standpunkt der Umwelthygiene ergeben sich drei grundlegende Forderungen:**

Erstens soll die Exposition der Bevölkerung so niedrig wie möglich gehalten, zweitens soll die Bevölkerung ausreichend und kompetent über mögliche Gefährdungen aber auch über unbegründete Befürchtungen hinsichtlich solcher Gefährdungen informiert und drittens soll die Erforschung der Wirkungsmechanismen von HF-Feldern vorangetrieben werden.

Ao Univ.-Prof. Dr. Michael Kundi  
Wien, am 30.08.2005

Univ.-Ass. DI Dr. med. H.-P. Hutter

## Literatur:

- Anane R, Geffard M, Taxile M, Bodet D, Billaudel B, Dulou PE, Veyret B (2003): Effects of GSM-900 microwaves on the experimental allergic encephalomyelitis (EAE) rat model of multiple sclerosis. *Bioelectromagnetics* 24:211-213.
- Antonopoulis A, Eisenbrandt H, Obe G (1997): Effects of high-frequency electromagnetic fields on human lymphocytes in vitro. *Mutat Res* 395:209-214.
- Auvinen A, Hietanen M, Luukonen R, et al. (2002): Brain tumors and salivary gland cancers among cellular telephone users. *Epidemiology* 13:356-359.
- Bisht KS, Moros EG, Straube WL, Baty JD, RotiRoti JL (2002): The effect of 835.62 MHz FDMA or 847.74 MHz CDMA modulated radiofrequency radiation on the induction of micronuclei in C3H 10T $\frac{1}{2}$  cells. *Radiat Res* 157:506-515.
- Borbely AA, Huber R, Graf T, Fuchs B, Gallmann E, Achermann P (1999): Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neurosci Lett* 275:207-210.
- Braune S, Riedel A, Schulte-Monting J, Raczek J (2002): Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals. *Radiat Res* 158:352-356.
- Braune S, Wrocklage C, Raczek J, Gailus T, Lucking CH (1998): Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field. *Lancet* 351:1857-1858.
- Burch JB, Reif JS, Noonan CW, Ichinose T, Bachand AM, Koleber TL, Yost MG (2002): Melatonin metabolite excretion among cellular telephone users. *Int J Radiat Biol* 78:1029-1036.
- Cain CD, Thomas DL, Adey WR (1997): Focus formation of C3H10T $\frac{1}{2}$  cells and exposure to an 836.55 MHz modulated radiofrequency field. *Bioelectromagnetics* 18:237-243.
- Chia SE, Chia HP, Tan JS (2000): Prevalence of headache among handheld cellular telephone users in Singapore: A community study. *Environ Health Persp* 108:1059-1062.
- Christensen HC, Joachim Schüz J, Kosteljanetz M, Poulsen HS, Boice JD, McLaughlin JK, Johansen C (2005): Cellular telephone use and risk for brain tumors. A population-based, incident case-control study. *Neurology* 64:1189-1195.
- Christensen HC, Joachim Schüz J, Kosteljanetz M, Poulsen HS, Thomsen J, Johansen C (2004): Cellular telephone use and risk of acoustic neuroma. *Am J Epidemiol* 159:277-283.
- Croft RJ, Chandler JS, Burgess AP, Barry RJ, Williams JD, Clarke AR (2002): Acute mobile phone operation affects neural function in humans. *Clin Neurophysiol* 113:1623-1632.
- d'Ambrosio G, Massa R, Scarfi MR, Zeni O (2002): Cytogenetic damage in human lymphocytes following GSM phase modulated microwave exposure. *Bioelectromagnetics* 23:7-23.
- de Seze R, Ayoub J, Peray P, Miro L, Touitou Y (1999): Evaluation in humans of the effects of radiocellular telephones on the circadian patterns of melatonin secretion, a chronobiological rhythm marker. *J Pineal Res* 27:237-242.
- de Seze R, Fabbro-Peray P, Miro L (1998): GSM radiocellular telephones do not disturb the secretion of antepituitary hormones in humans. *Bioelectromagnetics* 19:271-278.
- Dreyer NA, Loughlin JE, Rothman KJ (1999): Cause-specific mortality in cellular telephone users. *JAMA* 282:1814-16.
- Edelstyn N, Oldershaw A (2002): The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport* 13:119-21.
- Eger H, Hagen KU, Lucas B, Vogel P, Voit H (2004): Einfluss der räumlichen Nähe von Mobilfunksendern auf die Krebsinzidenz. *umwelt.medizin.gesellschaft* 17:326-332.
- Eulitz C, Ullsperger P, Freude G, Elbert T (1998): Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *Neuroreport* 9:3229-3232.
- Freude G, Ullsperger P, Eggert S, Ruppe I (2000): Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. *Eur J Appl Physiol* 81:18-27.

- Freude G, Ullsperger P, Eggert S, Ruppe I (1998): Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials. *Bioelectromagnetics* 19:384-387.
- Fritzer G, Friege L, Göder R, Pannier G, Wachter J, Aldenhoff J (2000): Kurz- und Langzeitauswirkung elektromagnetischer Hochfrequenzfelder auf die Qualität des menschlichen Schlafes und der heiraus resultierenden Tagesempfindlichkeit. *Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universität Kiel. Schlafmedizinisches Labor.*
- Goldstein LS, Kheifets L, van Deventer E, Repacholi M (2003): Comments on "Long-term Exposure of E $\mu$ -Pim1 Transgenic Mice to 898.4 MHz Microwaves Does Not Increase Lymphoma Incidence" by Utteridge et al., *Radiat Res* 158:357-364 (2002). *Radiat Res* 159:275-276.
- Goswami PC, Albee LD, Parsian AJ, Baty JD, Moros EG, Pickard WF, Roti Roti JL, Hunt CR (1999): Proto-oncogene mRNA levels and activities of multiple transcription factors in C3H 10T 1/2 murine embryonic fibroblasts exposed to 835.62 and 847.74 MHz cellular telephone communication frequency radiation. *Radiat Res* 151:300-309.
- 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 (2003). *Bioelectromagnetics* 24:283-288.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K (2005): Case-control study of the association between the use of cellular and cordless telephones and malignant brain tumors diagnosed during 2000-2003. *Environmental Research*. In press.
- Hardell L, Hallquist A, Hansson Mild K, Carlberg M, Gertzen H, Schildt E-B, Dahlgqvist A (2004): No association between the use of cellular or cordless telephones and salivary gland tumours. *Occup Environ Med* 61:675-679.
- Hardell L, Hallquist A, Hansson Mild K et al. (2002): Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev* 11:377-386.
- Hardell L, Mild KH, Pahlson A, Hallquist A (2001): Ionizing radiation, cellular telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev* 10:523-529.
- Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A (2000): Case-control study on radiology work, medical x-ray investigations, and use of cellular telephones as risk factors for brain tumors. *MedGenMed* 2:E2.
- Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A, Hansson Mild K (1999): Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: A case-control study. *Int J Oncol* 15:113-116.
- Hietanen M, Kovala T, Hamalainen AM (2000): Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. *Scand J Work Environ Health* 26:87-92.
- Hietanen M, Hamalainen AM, Husman T (2002): Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: no causal link. *Bioelectromagnetics* 23:264-270.
- Hladky A, Musil J, Roth Z, Urban P, Blazkova V (1999): Acute effects of using a mobile phone on CNS functions. *Cent Eur J Public Health* 7:165-167.
- Hocking B (1998): Preliminary report: symptoms associated with mobile phone use. *Occup Med Oxf* 48:357-360.
- Huber R, Graf T, Cote KA, Wittmann L, Gallmann E, Matter D, Schuderer J, Kuster N, Borbely AA, Achermann P (2000): Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport* 11:3321-3325.
- Huber R, Schuderer J, Graf T, Jutz K, Borbely AA, Kuster N, Achermann P (2003): Radio frequency electromagnetic field exposure in humans: Estimation of SAR distribution in the brain, effects on sleep and heart rate. *Bioelectromagnetics* 24:262-276.
- Huber R, Treyer V, Borbely AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, Achermann P (2002): Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res* 11:289-295.
- Huber R, Treyer V, Schuderer J, Berthold T, Buck A, Kuster N, Landolt HP, Achermann P (2005): Exposure to pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields affects regional cerebral blood flow. *Eur J Neurosci* 21:1000-1006.

- Inskip PD, Tarone RE, Hatch EE, Wilcosky TC, Shapiro WR, Selker RG et al. (2001): Cellular-telephone use and brain tumors. *N Engl J Med* 344:79-86.
- International Commission On Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP) (1998): Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys* 74:494-522
- Ivaschuk OI, Jones RA, Ishida-Jones T, Haggren W, Adey WR, Phillips JL (1997): Exposure of Nerve-Growth-Factor-treated PC12 rat pheochromocytoma cells to a modulated radiofrequency field at 836.55 MHz: effects on c-fos and c-jun expression. *Bioelectromagnetics* 18:223-229.
- Jech R, Sonka K, Ruzicka E, Nebuzelsky A, Böhm J, Juklickova M, Nevsimalova S (2001): Electromagnetic field of mobile phones affects visual event related potential in patients with narcolepsy. *Bioelectromagnetics* 22:519-528.
- Johansen CJ, Boice JD, McLaughlin JK, Olsen JH (2001): Cellular telephones and cancer - a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst* 93:203-207.
- Koivisto M, Haarala C, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H (2001): GSM phone signal does not produce subjective symptoms. *Bioelectromagnetics* 22:212-215.
- Koivisto M, Revonsuo A, Krause C, Haarala C, Sillanmaki L, Laine M, Hamalainen H (2000): Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport* 11:413-415.
- Kramarenko AV, Tan U (2005): Effects of high-frequency electromagnetic fields on human EEG: a brain mapping study. *Int J Neurosci* 113:1007-1019.
- Krause CM, Sillanmaki L, Koivisto M, Haggqvist A, Saarela C, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H (2000): Effects of electromagnetic fields emitted by cellular phones on the electroencephalogram during a visual working memory task. *Int J Radiat Biol* 76:1659-1667.
- Krause CM, Sillanmaki L, Koivisto M, Haggqvist A, Saarela C, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H (2000): Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task. *Neuroreport* 11:761-764.
- Kundi M (2003a). Comments on the responses of Utteridge et al. *Radiat Res* 2003; 160:613-614
- Kundi M (2003b): Comments on "Long-term Exposure of Eμ-Pim1 Transgenic Mice to 898.4 MHz Microwaves Does Not Increase Lymphoma Incidence" by Utteridge et al., *Radiat Res* 158:357-364. *Radiat Res* 159:274.
- Lebedeva NN, Sulimov AV, Sulimova OP, Korotkovskaya TI, Gailus T (2001): Investigation of brain potentials in sleeping humans exposed to the electromagnetic field of mobile phones. *Crit Rev Biomed Eng* 29:125-133.
- Lebedeva NN, Sulimov AV, Sulimova OP, Kotrovskaya TI, Gailus T (2000): Cellular phone electromagnetic field effects on bioelectric activity of human brain. *Crit Rev Biomed Eng* 28:323-337.
- Lee TM, Ho SM, Tsang LY, Yang SH, Li LS, Chan CC, Yang SY (2001): Effect on human attention of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones. *Neuroreport* 12:729-731.
- Lerchl A (2003): Comments on the Recent Publication on Microwave Effects on Eμ-Pim1 Transgenic Mice (Utteridge et al., *Radiat Res* 158:357-364, 2002). *Radiat Res* 159:276.
- Li L, Bisht KS, LaGroye I, Zhang P, Straube WL, Morosand EG, Roti Roti JL (2001): Measurement of DNA damage in mammalian cells exposed in vitro to radiofrequency fields at SARs of 3-5 W/kg. *Radiat Res* 56:328-332.
- Lönn S, Ahlbom A, Hall P, Feychting M (2005): Long-term mobile phone use and brain tumor risk. *Am J Epidemiol* 161:526-535.
- Lönn S, Ahlbom A, Hall P, Feychting M (2004): mobile phone use and the risk of acoustic neuroma. *Epidemiology* 15:653-659.
- Malyapa RS, Ahern EW, Straube WL, Moros EG, Pickard WF, Roti Roti JL (1997): Measurement of DNA damage after exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation. *Radiat Res* 148:608-617.
- Maes A, Collier M, Verschaeve L (2001): Cytogenetic effects of 900MHz (GSM) microwaves on human lymphocytes. *Bioelectromagnetics* 22:91-96.

- Maes A, Collier M, Slaets D, Verschaeve L (1996): 954 MHz microwaves enhance the mutagenic properties of mitomycin. *Environ Mol Mutagen* 28:26-30.
- Mann K, Röschke J, Connemann B, Beta H (1998): No effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on heart rate variability during human sleep. *Neuropsychobiology* 38:251-256.
- Mann K, Röschke J (1996): [REM suppression induced by digital mobile radio telephones]. *Wien Med Wochenschr* 146:285-286.
- Mann K, Röschke J (1996): Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 33:41-47.
- Mann K, Wagner P, Brunn G, Hassan F, Hiemke C, Röschke J (1998): Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. *Neuroendocrinology* 67:139-144.
- McNamee JP, Bellier PV, Gajda GB, Lavallee BF, Lemay EP, Marro L, Thansandote A (2002): DNA damage in human leukocytes after in vitro exposure to a 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency field. *Radiat. Res.* 158:534-537.
- Muscat JE, Malkin MG, Shore RE, et al. (2002): Handheld cellular telephones and risk of acoustic neuroma. *Neurology* 58:1304-6.
- Muscat JE, Malkin MG, Thompson S, Shore RE, Stellman SD, McRee F et al. (2000): Handheld Cellular Telephone Use and Risk of Brain Cancer. *JAMA* 284:3001-7.
- Navarro EA, Segura J, Portosolés M, Gómez-Perretta de Mateo C (2003): The microwave syndrome: a preliminary study in Spain. *Electromagnetic Biology and Medicine* 22:161-169.
- Neubauer G, Rössli M, Feychting M, Hamnerius Y, Kheifets L, Kuster N, Ruiz I, Schüz J, Wiart J (2005): Feasibility of future epidemiological studies on possible health effects of mobile phone base stations – final report. Seibersdorf Research, ARC-IT-0124, März 2005.
- Oberfeld G, Navarro EA, Portosolés M, Maestu C, Gómez-Perretta de Mateo C (2004): The microwave syndrome - further aspects of a Spanish study. *Proceedings Biological Effects of EMFs: 3<sup>rd</sup> International Workshop (Kos, Greece, 4.-8.10.2004): 365-369.*
- Oberster Sanitätsrat (2001): Resolution des obersten Sanitätsrates zur Mobilfunktelefonie (4. Vollversammlung am 18. November 2000). *Mitteilungen der Sanitätsverwaltung* 2:40-41.
- ÖNORM S1120: Mikrowellen und Hochfrequenzfelder. Zulässige Expositionswerte zum Schutz von Personen im Frequenzbereich 30 kHz bis 300 GHz, Messungen. *Vornorm* 1. Juli 1992.
- Oftedal G, Wilen J, Sandstrom M, Mild KH (2000): Symptoms experienced in connection with mobile phone use. *Occup Med* 50: 237-245.
- Phillips JL, Ivaschuk O, Ishida-Jones T, Jones RA, Campbell-Beachler M, Haggren W (1998): DNA damage in Molt-4 T-lymphoblastoid cells exposed to cellular telephone radiofrequency fields in vitro. *Bioelectrochem Bioenerg* 45:103-110.
- Preece AW, Goodfellow S, Wright MG, Butler SR, Dunn EJ, Johnson Y, Manktelow TC, Wesnes K (2005): Effect of 902 MHz mobile phone transmission on cognitive function in children. *Bioelectromagnetics*. Published Online: 1 Jun 2005.
- Preece AW, Iwi G, Davies-Smith A, Wesnes K, Butler S, Lim E, Varey A (1999): Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int J Radiat Biol* 75:447-456.
- Radon K, Parera D, Rose DM, Jung D, Vollrath L (2001): No effects of pulsed radio frequency electromagnetic fields on melatonin, cortisol, and selected markers of the immune system in man. *Bioelectromagnetics* 22:280-287.
- Reiser H, Dimpfel W, Schober F (1995): The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *Eur J Med Res* 1:27-32
- Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J, Harris AW (1997): Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res* 147:631-640.
- Röschke J, Mann K (1997): No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 18:172-176.

- Rothman KJ, Loughlin JE, Funch DP, Dreyer NA (1996): Overall mortality of cellular telephone customers. *Epidemiology* 7:303-305.
- Sandstrom J, Wilen J, Oftedal GG, Mild KH (2001): Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Occup Med* 51:25-35.
- Santini R, Santini R, Le Ruz P, Danze J, Seigne M (2003): Survey study of people living in the vicinity of cellular phone base stations. *Electromagnetic Biology and Medicine* 22:41-49.
- Schmid G, Sauter C, Stepansky R, Lobentanz IS, Zeithofer J (2005): No influence on selected parameters of human visual perception of 1970 MHz UMTS-like exposure. *Bioelectromagnetics* 26:243-250.
- Smythe JW, Costall B (2003): Mobile phone use facilitates memory in male, but not female, subjects. *Neuroreport* 14:243-246.
- Stagg RB, Thomas W, Jones RA, Adey WR (1997): DNA synthesis and cell proliferation in C6 glioma and primary glial cells exposed to a 836.55 MHz modulated radiofrequency field. *Bioelectromagnetics* 18:230-236.
- Stang A, Anastassiou G, Ahrens W, Bromen K, Bornfeld N, Jöckel KH (2001): The Possible Role of Radiofrequency Radiation in the Development of Uveal Melanoma. *Epidemiology* 12:7-12.
- Takahashi S, Inaguma S, Cho YM, Imaida K, Wang J, Fujiwara O, Shirai T (2002): Lack of mutation induction with exposure to 1.5 GHz electromagnetic near fields used for cellular phones in brains of Big Blue mice. *Cancer Res* 62:1956-60.
- Tice RR, Hook GG, Donner M, McRee DI, Guy AW (2002): Genotoxicity of radiofrequency signals. I. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells. *Bioelectromagnetics* 23:113-126.
- Urban P, Lukas E and Roth Z (1998): Does acute exposure to the electromagnetic field emitted by a mobile phone influence visual evoked potentials? A. pilot study. *Cent Eur J Public Health* 6:288-290.
- Utteridge TD, Gebiski V, Finnie JW, Vernon-Roberts B, Kuchel TR (2002): Long-term exposure of E-mu-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. *Radiat Res* 158:357-364.
- Velizarov S, Raskmark P, Kwee S (1999): The effects of radiofrequency fields on cell proliferation are non-thermal. *Bioelectrochem Bioenerg* 48:177-180.
- Vijayalaxmi, Sasser LB, Morris JE, Wilson BW, Anderson LE (2003): Genotoxic potential of 1.6 GHz wireless communication signal: in vivo two-year bioassay. *Radiat Res* 159:558-564.
- Vijayalaxmi, Pickard WF, Bisht KS, Leal BZ, Meltz ML, Roti Roti JL, Straube WL, Moros EG (2001): Cytogenetic studies in human blood lymphocytes exposed in vitro to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (835.62 MHz, FDMA). *Radiat Res* 155:113-121.
- Vijayalaxmi, Pickard WF, Bisht KS, Prihoda TJ, Meltz ML, LaRegina MC, Roti Roti JL, Straube WL, Moros EG (2001): Micronuclei in the peripheral blood and bone marrow cells of rats exposed to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Int J Radiat Biol* 77:1109-15.
- Wagner P, Röschke J, Mann K, Fell J, Hiller W, Frank C, Grozinger M (2000): Human sleep EEG under the influence of pulsed radio frequency electromagnetic fields. Results from polysomnographies using submaximal high power flux densities. *Neuropsychobiology* 42:207-212.
- Wagner P, Röschke J, Mann K, Hiller W, Frank C (1998): Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: a polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics* 19:199-202.
- Warren HG, Prevatt AA, Daly KA, et al. (2003): Cellular telephone use and risk of intratemporal facial nerve tumor. *Laryngoscope* 113:663-667.
- Wolf R, Wolf D (2004): Increased incidence of cancer near a cell-phone transmitter station. *International Journal of Cancer Prevention* 1:123-128.

- Zeni O, Chiavoni AS, Sannino A, Antolini A, Forigo D, Bersani F, Scarfi MR (2003): Lack of genotoxic effects (micronucleus induction) in human lymphocytes exposed in vitro to 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res* 160:152-158.
- Zhang MB, He JL, Jin LF, Lu DQ (2002): Study on low intensity 2450-MHz microwave exposure enhancing the genotoxic effects of mitomycin C using micronucleulus test and comet assay in vitro. *Biomed Environ Sci* 15:283-290.
- Zwamborn A, Vossen S, van Leersum S, Ouwens, Mäkel W (2003): Effects of global communication system radio-frequency fields on well being and cognitive functions on human beings with and without subjective health complaints. TNO-report FEL-03-C148. The Hague, Md.: TNO Physics and Electronic Laboratory.