

## Mobilfunk – eine Technik ohne Risiko für die Gesundheit der Menschen?

### Einleitung

Gene, Umwelt und Verhalten sind die drei Größen, die das Schicksal des Menschen bezüglich seiner Lebenserwartung und der Art der Krankheiten, von denen er heimgesucht wird, maßgeblich bestimmen. Stressfaktoren aus Umwelt und Verhalten entscheiden, ob eine genetische Disposition zum Tragen kommt. Ob hochfrequente elektromagnetische Felder (RF-EMF), wie sie beim Mobilfunk benutzt werden, zu diesen gezählt werden müssen, ist eine Frage, die von der Wissenschaft bis heute nicht zuverlässig beantwortet werden kann. Eine Klärung ist dringend erforderlich, da wegen der universellen Nutzung dieser Technik gegenwärtig ein Großteil der Bevölkerung der Mobilfunkstrahlung ausgesetzt ist – und dies aus nächster Nähe in einer Intensität wie niemals zuvor in der Menschheitsgeschichte. Weil dabei von allen Körperregionen am stärksten der Kopf betroffen ist, stellt sich zwingend die Frage, ob eine Schädigung des Gehirns, insbesondere durch Induktion von Hirntumoren oder der Alzheimer-Krankheit, mit ausreichender Sicherheit ausgeschlossen werden kann.

### Physikalische und biophysikalische Grundlagen der geltenden Sicherheitsgrenzen

Das elektromagnetische Spektrum lässt sich grob unterteilen in die ionisierende und die nicht-ionisierende Strahlung. Die ionisierende Strahlung entfernt Elektronen aus Atomen und Molekülen, die dadurch hochreaktiv werden und aufgrund dieser Eigenschaft den lebenden Organismus schädigen können. Die Energie der nicht-ionisierenden Strahlung, zu der die Mobilfunkstrahlung ebenso wie das sichtbare Licht zählen, reicht für eine solche Radikalentstehung nicht aus. Bei der im Vergleich zum sichtbaren Licht sogar weniger energiereichen Mobilfunkstrahlung wird deshalb grundsätzlich angenommen, dass schädliche biologische Wirkungen gar nicht zu erwarten sind. Der Mobilfunk der 2. und 3. Generation, also GSM und UMTS, benutzt elektromagnetische Felder der Frequenzen 800–2500 MHz. Um Hitzeschäden durch diese Strahlung, die wie sichtbares Licht Wärme erzeugt, auszuschließen, hat man Richtwerte festgelegt.



---

#### *Prof. Dr. Franz Adlkofer*

*Franz Adlkofer ist seit 1992 Geschäftsführer und seit 2002 Mitglied des Stiftungsrates der Stiftung VerUm (Stiftung für Verhalten und Umwelt) mit Sitz in München. Nach seiner Doktorarbeit am Max-Planck-Institut für Biochemie in München habilitierte er sich 1974 am Klinikum Steglitz der Freien Universität Berlin für das Fach Innere Medizin. Sein besonderes Interesse gilt der Erforschung von Krankheiten, die durch Verhalten und Umwelt mit verursacht werden. Er organisierte und koordinierte zwischen 1999 und 2004 das von der EU-Kommission geförderte Forschungsvorhaben REFLEX, an dem sich elf wissenschaftliche Einrichtungen aus sieben europäischen Ländern beteiligten, um die biologischen Wirkungen elektromagnetischer Felder weiter zu erforschen.*

---

Die Richtwerte für Basisstationen (Tabelle 1) wurden von einer Internationalen Kommission (ICNIRP) zum Schutze der Bevölkerung vor nicht-ionisierenden Strahlen erarbeitet, von der Bundesregierung übernommen und 1996 im Bundesimmissionsschutzgesetz veröffentlicht. Die Leistungsflussdichte von 4.500.000 bis 10.000.000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  ist um den Faktor 50 niedriger als die Leistungsflussdichte, die im Tierversuch Erhitzung und als Folge davon Verhaltensstörungen auslöst. Für Arbeitsplätze liegt dieser Schutzfaktor bei 10 und ist somit deutlich niedriger. Die geltenden Richtwerte lassen eine mögliche chronische Schädigung der menschlichen

Tabelle 1: Richtwerte für Basisstationen

Typ	E = elektrische Feldstärke	H = magnetische Feldstärke	S = Leistungsflussdichte
GSM-900	41 V/m	1,11 A/m	4.500.000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
GSM-1800	58 V/m	1,57 A/m	9.000.000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
UMTS	61 V/m	1,65 A/m	10.000.000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
GSM-900	Schweizer Grenzwert		45.000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Ecolog-Institut		10.000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Bundesärztekammer		1.000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Bund Naturschutz		500 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
	Katalyse-Institut Köln		10 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Gesundheit infolge Langzeiteinwirkung der Mobilfunkstrahlung oder aufgrund ihrer athermischen Wirkungen, deren Existenz allerdings immer noch angezweifelt wird, unberücksichtigt. Die Zuverlässigkeit der bestehenden Richtwerte wird deshalb von verschiedenen Organisationen in Frage gestellt. Mit ihren Vorschlägen zur Senkung der Leistungsflussdichte (Tabelle 1) haben sie jedoch bis jetzt bei den Verantwortlichen in Deutschland kein Gehör gefunden haben.

Für die Benutzung von Mobiltelefonen ist das Messen der Leistungsflussdichte ( $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ), deren Intensität mit dem Quadrat der Entfernung von der Emissionsquelle steil abnimmt, zur Richtwertbestimmung ungeeignet, da die Strahleneinwirkung aus dem Nahfeld kommt. Deshalb wurde für Mobiltelefone von der ICNIRP eine zusätzliche Norm, die Spezifische Absorptionsrate (SAR), entwickelt. Die SAR lässt sich aus der elektrischen Feldstärke (V/m), der Stromdichte (A/m) und der Temperaturerhöhung im Gewebe berechnen. Für die SAR-Bestimmung steht ein genormtes Verfahren zur Verfügung. Um unzulässige Erwärmungen sicher auszuschließen, hat die ICNIRP für Kopf und Rumpf als Richtwert eine SAR von 2 W/kg empfohlen. EU und WHO haben ihren Mitgliedern die Übernahme des Wertes vorgeschlagen. Jeder Hersteller muss für seine Geräte die Einhaltung des Grenzwertes gewährleisten. Mobiltelefone, deren SAR-Wert 0,6 W/kg nicht überschreitet, werden mit dem „Blauen Engel“ ausgezeichnet. Wie beim Richtwert für Basisstationen hält sich auch das Vertrauen der Bevölkerung in die Zuverlässigkeit des SAR-Wertes zunehmend in Grenzen.

## Gegenwärtiger Stand der Forschung

Epidemiologische Daten, tierexperimentelle Befunde und in-vitro Beobachtungen, die die Grund-

lagen für unseren Wissensstand schaffen, ergeben ein eher verwirrendes Gesamtbild.

## Epidemiologische Forschung

Mittels epidemiologischer Studien, die die Grundlage jeder Risikoabschätzung darstellen, lässt sich theoretisch das Vorkommen einzelner Erkrankungen in der Bevölkerung unter Berücksichtigung bestimmter Belastungen feststellen. Aus den meisten bis heute durchgeführten Untersuchungen dieser Art ergeben sich keine Hinweise dafür, dass die Mobilfunkstrahlung ein Risiko für Hirntumoren darstellt.<sup>1</sup> Unter Berücksichtigung der zahlreichen Fehlerquellen solcher Studien<sup>2</sup> (Kasten 1) ist es jedoch fraglich, ob ihnen genug Gewicht zukommt, um daraus für die Gesundheitspolitik Schlussfolgerungen ziehen zu können. Allein die kurze Latenzzeit von in der Regel weniger als zehn Jahren seit der Nutzung der Mobilfunktechnik macht eine solche Aussage weitgehend irrelevant. Besonders verunsichert jedoch die Tatsache, dass in den wenigen Studien, die einen Zeitraum von mehr als zehn Jahren abdecken, ein zumindest leicht erhöhtes Hirntumorrisiko beobachtet wird (Tabelle 2). Dies gilt insbesondere für Teilstudien der INTERPHONE-Studie, die seit dem Jahr 2000 innerhalb des 5. Forschungsrahmenprogramms der EU (FP5) unter Leitung des Internationalen Krebsforschungszentrum der Weltgesundheitsorganisation (WHO) in Lyon in insgesamt 13 Ländern nach gleichem Studiendesign durchgeführt wurde. Um die 6500 Personen mit einem Hirntumor (Gliome, Meningiome und Akustikusneurinome) und gleich viele gesunde Kontrollpersonen wurden bezüglich der Nutzung des Mobilfunks miteinander verglichen. Deutschland ist mit drei Studienregionen beteiligt.

In zwei Metaanalysen (Tabelle 3) wurden die Ergebnisse aller bisherigen epidemiologischen Unter-

Tabelle 2: Ergebnisse epidemiologischer Studien zu Frage eines Hirntumorrisikos, die eine Latenzzeit von 10 und mehr Jahren abdecken

INTERPHONE-Studien	
Schoemaker et al. (2005) Mobile phone use and risk of acoustic neuroma: results of the interphone case-control study in five North European countries. (Interphone Study Group, Nordic countries and UK) Br J Cancer 93(7):842-8	signifikanter Anstieg der Akustikusneurinomrate nach einer Nutzungsdauer des Mobiltelefons von 10 und mehr Jahren auf der Seite des Kopfes, auf der telefoniert wurde
Lönn et al. (2005) Long-term mobile phone use and brain tumour risk. Am J Epidemiol 161:526-35	nicht-signifikanter Anstieg der Gliom- und Meningiomrate nach einer Nutzungsdauer von 10 und mehr Jahren auf der Seite des Kopfes, auf der telefoniert wurde
Schüz et al. (2006) Cellular phones, cordless phones, and the risk of glioma and meningioma (Interphone Study Group, Germany). Am J Epidemiol 163(6):512-20	nicht-signifikanter Anstieg der Gliomrate nach einer Nutzungsdauer von 10 und mehr Jahren
Hepworth et al. (2006) Mobile phone use and risk of glioma in adults: case-control study (Interphone Study Group, UK). BMJ 332 (7546):883-7	nicht-signifikanter Anstieg der Gliomrate nach einer Nutzungsdauer von 10 und mehr Jahren auf der Seite des Kopfes, auf der telefoniert wurde
Lahkola et al. (2007) Mobile phone use and risk of glioma in five North European countries (Interphone Study). Int J Cancer 120(8):1769-75	grenzwertig signifikanter Anstieg der Gliomrate nach einer Nutzungsdauer von 10 und mehr Jahren auf der Seite des Kopfes, auf der telefoniert wurde
Hours et al. (2007) Cell phones and risk of brain and acoustic nerve tumours: the French Interphone case-control study. Rev Epidemiol Sante Publique 55(5):321-32	Tendenz zum Anstieg der Gliomrate bei Langzeitnutzern, Häufignutzern und Nutzern von 2 Mobiltelefonen
Hardell-Studien	
Hardell et al. (2006) Pooled analysis of two case-control studies on use of cellular and cordless telephones and the risk of benign brain tumours diagnosed in 1997–2003. Int J Oncol 28:509-18	Akustikusneurinom- und Meningiomrate bei Nutzern von Mobil- und Schnurlostelefonen insbesondere nach einer Nutzungsdauer von 10 und mehr Jahren auf der Seite des Kopfes erhöht, auf der telefoniert wurde
Hardell et al. (2006) Pooled analysis of two case-control studies on use of cellular and cordless telephones and the risk of malignant brain tumours diagnosed in 1997–2003. Int Arch Occup Environ Health 79(8):630-9	Astrocytomrate bei Nutzern von Mobil- und Schnurlostelefonen insbesondere nach einer Nutzungsdauer von 10 und mehr Jahren auf der Seite des Kopfes erhöht, auf der telefoniert wurde

Tabelle 3: Ergebnisse von Metaanalysen

Hardell et al. (2007) Long-term use of cellular phones and brain tumours – increased risk associated with use >10 years. Occup Environ Med (Epub ahead of print)	signifikant erhöhte Gliom- und Akustikusneurinomrate bei einer Nutzungsdauer des Mobiltelefons von 10 und mehr Jahren; Tumorraten am höchsten auf der Seite des Kopfes, auf der telefoniert wurde
Kan et al. (2007) Cellular phone use and brain tumor: a meta-analysis. J Neurooncol (Epub ahead of print)	signifikant erhöhtes Risiko für Hirntumoren bei einer Nutzungsdauer des Mobiltelefons von 10 und mehr Jahren; kein erhöhtes Risiko bei einer kürzeren Nutzungsdauer

## Fehlerquellen bei epidemiologischen Untersuchungen zur Frage eines Hirntumorrisikos durch Mobilfunkstrahlung

- Ungenaue und damit wenig verlässliche Messergebnisse bezüglich Intensität und Dauer der Strahlenexposition
- Störgrößen (Confounder) als Mitverursacher von Hirntumoren, durch die das Studienergebnis verfälscht werden kann
- Systematische Fehler (Bias) a) bei der Selektion des Vergleichskollektivs, b) aufgrund von Erinnerungslücken insbesondere der Erkrankten und/oder c) aufgrund von Voreingenommenheit der Erkrankten oder auch der Untersucher, wodurch das Studienergebnis ebenfalls verfälscht werden kann
- Lange Latenzzeit von bis zu 40 Jahren zwischen Beginn der Exposition und Ausbruch der Erkrankung, was den Ausschluss von Confounding und Bias weiter erschwert, wenn nicht unmöglich macht

Kasten 1

suchungen zusammengefasst. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass auf diese Weise höhere Fallzahlen erreicht werden, wodurch das Ergebnis unter Umständen statistische Signifikanz erlangt. Was die Zuverlässigkeit der Aussage angeht, bleiben alle Einwände (Kasten 1) bestehen.

Das bisher auffälligste Ergebnis der epidemiologischen Forschung ist zweifellos der mehrfache Hinweis auf ein möglicherweise erhöhtes Hirntumorrisiko nach einer Nutzungsdauer von zehn und mehr Jahren. Dies mag dem Zufall entspringen und damit bedeutungslos sein, es kann aber auch ein früher, noch unsicherer Hinweis dafür sein, dass die Mobilfunkstrahlung unterhalb des geltenden Richtwertes Krebs verursacht. Ob überhaupt solche Befürchtungen gerechtfertigt sind, wird der gegenwärtig laufende ungeplante internationale Feldversuch wohl frühestens erst in 20 Jahren aufgezeigt haben.

## Tierexperimentelle Forschung

Tierversuche, denen bei der Risikoabschätzung ebenfalls Bedeutung zukommt, haben den Vorteil, dass die Versuchsbedingungen exakt festgelegt und kontrolliert werden können. Confounding und Bias

scheiden somit aus. Der Nachteil besteht darin, dass ihre Ergebnisse nur bedingt auf den menschlichen Organismus übertragen werden können. Die meisten in den zurückliegenden Jahrzehnten durchgeführten Tierversuche erbrachten keinerlei Hinweis dafür, dass die Mobilfunkstrahlung unterhalb des geltenden Richtwertes zur Entstehung von chronischen Erkrankungen wie z.B. Krebs beitragen kann.<sup>3</sup> Auch die in 5 europäischen Ländern durchgeführte und von der EU-Kommission und der Industrie im FP5 gemeinsam finanzierte PERFORM-A-Studie, die als die wichtigste aller bisherigen Studien angesehen wird, endete mit der Feststellung, dass die Mobilfunkstrahlung die Tumorraten bei B6C3F1-Mäusen nach 18-monatiger Exposition (2 Stunden/Tag, 5 Tage/Woche, Ganzkörper-SAR < 4 W/kg) weder durch Initiation noch durch Promotion erhöht hat.<sup>4</sup> Ein ähnliches Ergebnis deutet sich für die Rat-

## Ungelöste Probleme bei der Übertragung der Ergebnisse von Tierversuchen auf den menschlichen Organismus

- Die in den Expositionsanlagen induzierte Strahlenbelastung ist nur sehr bedingt vergleichbar mit der bei Nutzern von Mobiltelefonen
- Mit tiermodellspezifischen biologischen Funktionsmechanismen ist zu rechnen, da es Hinweise dafür gibt, dass Tiere wohl aufgrund ihrer spezifischen genetischen Konstitution von Art zu Art und selbst innerhalb derselben Art sehr unterschiedlich auf elektromagnetische Felder reagieren
- Welche Tiermodelle in vergleichbarer Weise wie der Mensch auf elektromagnetische Felder ansprechen und damit für solche Untersuchungen geeignet sind, ist nicht bekannt
- Unter dieser Voraussetzung ist die Wahrscheinlichkeit recht groß, dass mit der Verwendung reinrassiger oder genetisch modifizierter Tierstämme die Klärung eines möglichen Gesundheitsrisiko für den Menschen verfehlt wird
- Zur Erfassung von Minimalrisiken wie sie möglicherweise bei der Exposition mit elektromagnetischen Feldern bestehen, sind hohe Tierzahlen erforderlich, was die technischen (und finanziellen) Möglichkeiten der Forscher in der Regel überfordert

Kasten 2

tenstämme Wistar und Sprague-Dawley an, bei denen die Versuche zwar abgeschlossen, aber noch nicht publiziert sind. Kein Hinweis auf eine Tumorpromotion ergibt sich auch aus einer weiteren gerade publizierten Studie. Bei F344-Ratten wurde die durch N-Äthylnitrosoharnstoff verursachte Hirntumorrate durch zusätzliche Exposition der Tiere mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (90 Minuten/Tag, 5 Tage/Woche, Kopf-SAR 0,67 und 2,0 W/kg) über 2 Jahre hinweg nicht weiter erhöht.<sup>5</sup> Ob jedoch aus den Ergebnissen solcher Versuche Schlussfolgerungen für den Menschen gezogen werden können, erscheint aus einer Reihe von Gründen recht fraglich (Kasten 2). Die Unsicherheit wird weiter durch die Tatsache verstärkt, dass es auch einige wenige Tierversuche gibt, die der Annahme der Wirkungslosigkeit der Mobilfunkstrahlung widersprechen (Tabelle 4). Ihnen allen wird jedoch entgegengehalten, dass ihre Ergebnisse in Wiederholungsversuchen nicht bestätigt werden konnten.

Der bisherige Beitrag von Tierversuchen zum Verständnis möglicher gesundheitlicher Risiken für den Menschen durch Mobilfunk erscheint entsprechend unserem Kenntnisstand eher gering. Dies wird wohl so bleiben, wenn man sich wie bei PERFORM-A auf die Erfassung von mikroskopisch nachweisbaren Tumoren beschränkt. Viel bedeutsamer dürften Untersuchungen sein, die es erlauben, zelluläre und molekularbiologische Veränderungen zu erkennen,

deren Bedeutung bei der Pathogenese chronischer Erkrankungen, insbesondere aber von Krebs und der Alzheimer-Krankheit, zukommen könnte. Dass solche Veränderungen durchaus im Bereich des Möglichen sind, darauf weisen die Ergebnisse von Lai und Singh und von Paulraj und Behari (beide Tabelle 4) hin. Sollten die von diesen Autoren beobachteten gentoxische Wirkungen eines Tages auch beim Menschen zweifelsfrei nachgewiesen werden, müsste ein erhöhtes Tumorrisiko durch Mobilfunkstrahlung als recht wahrscheinlich angesehen werden.

## In-vitro Forschung

Laboruntersuchungen zielen darauf ab, grundlegende Mechanismen aufzuzeigen, die bei der Entstehung von Erkrankungen eine Rolle spielen können. Die dabei verwendeten Zellen oder Gewebe sind abgetrennt von ihrer normalen Umgebung, was zur Folge hat, dass ihnen üblicherweise vorhandene Schutzmechanismen fehlen. Schädigungen, die im Reagenzglas nachgewiesen werden, müssen deshalb nicht zwangsläufig auch im Gesamtorganismus von Mensch oder Tier auftreten. Schlussfolgerungen für den Menschen sind selbst dann nicht möglich, wenn menschliche Zellen untersucht werden. Trotz dieser Einschränkung sind Laborergebnisse von großer Wichtigkeit für die Plausibilität einer Risikoabschätzung auf der Grundlage von tierexperimentellen und

Tabelle 4: Studien, die auf gentoxische und andere Wirkungen elektromagnetischer Felder hinweisen

Repacholi et al. (1997) Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. Radiat Res 147(5):631-40	signifikanter Anstieg der Lymphomrate nach GSM-Bestrahlung (900 MHz; 0,13–1,4 W/kg; 2x30 Minuten/Tag über 18 Monate) bei E mu Pim1-transgenen Mäusen mit Neigung zur spontanen Entwicklung von Lymphomen
Salford et al. (2003) Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. Environ Health Perspectives 111:881-3	Nachweis einer Schädigung von Neuronen im Gehirn von F344-Ratten nach GSM-Ganzkörperexposition über 2 Stunden (SAR <0,2 W/kg), wobei der Mechanismus der Schädigung unbekannt bleibt
Lai and Singh (1996) Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. Int J Radiat Biol 69(4):513-21.	signifikanter Anstieg von DNA-Einzel- und Doppelstrangbrüchen in Hirnzellen von Ratten 4 Stunden nach Beendigung einer RF-EMF-Ganzkörperexposition (2450 MHz; 1,2 W/kg; 2 Stunden)
Paulraj and Behari (2006) Single strand DNA breaks in rat brain cells exposed to microwave radiation. Mutat Res 596 (1-2):76-80.	signifikanter Anstieg von DNA-Strangbrüchen in Hirnzellen von Ratten nach 35-tägiger RF-EMF-Ganzkörperexposition (2450 MHz; 1 W/kg; 2 Stunden/Tag)

## Ergebnisse der REFLEX-Studie

GSM-1800 und GSM 900 verändern unterhalb des geltenden Richtwertes von 2 W/kg in verschiedenen menschlichen und tierischen Zellen nach intermittierender und kontinuierlicher Exposition Struktur und Funktion der Gene. Folgende Wirkungen wurden festgestellt:

- Zunahme von Einzel- und Doppelstrangbrüchen der DNA in menschlichen Fibroblasten, HL60-Zellen und Granulosazellen von Ratten, aber nicht in menschlichen Lymphozyten<sup>7</sup>
- Zunahme von Mikrokernen und Chromosomenaberrationen in menschlichen Fibroblasten<sup>8</sup>
- Veränderung der Genexpression in mehreren Zellarten, insbesondere aber in menschlichen Endothelzellen und embryonalen Stammzellen von Mäusen<sup>9</sup>

Ein signifikanter Anstieg von DNA-Strangbrüchen wurde in menschlichen Fibroblasten bereits bei einem SAR-Wert von 0,3 W/kg festgestellt.

Kasten 3

epidemiologischen Studien. Viele Wissenschaftler sind heute der Meinung, dass die vielen sich widersprechenden in-vitro Forschungsergebnisse zur Frage möglicher biologischer Wirkungen der Mobilfunkstrahlung sich gegenseitig eher neutralisieren statt Einblick in die Funktion der Zellen zu gewähren.<sup>6</sup>

In dieser kontroversen wissenschaftlichen Diskussion kommt der REFLEX-Studie, die von 2000 bis 2004 von 11 Forschergruppen aus sieben europäischen Ländern im Wesentlichen mit Mitteln der EU-Kommission parallel zur INTERPHONE- und zur PERFORM-A-Studie im FP5 durchgeführt wurde, besondere Bedeutung zu. Unter Verwendung modernster molekularbiologischer Methoden wurde untersucht, ob elektromagnetische Felder in isolierten Zellsystemen biologische Veränderungen verursachen können, die bei der Entstehung chronischer Erkrankungen wie z.B. Krebs und der Alzheimer-Krankheit eine Rolle spielen. All diesen Erkrankungen liegen als Auslöser

akute Ereignisse zugrunde, die insbesondere dann wirksam werden, wenn sie sich ständig wiederholen. Wären Wirkungen dieser Art nicht festgestellt worden, dürfte heute davon ausgegangen werden, dass ein Gesundheitsrisiko durch Mobilfunkstrahlung für den Menschen mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. Entgegen der Erwartung zeigten die Ergebnisse der REFLEX-Studie jedoch eine recht deutliche Einwirkung der Mobilfunkstrahlung auf das Genom isolierter menschlicher Zellen (Kasten 3).

Die Ergebnisse der REFLEX-Studie, die auf eine genotoxische Wirkung der Mobilfunkstrahlung hinweisen, befinden sich in Einklang mit denen einer Nachfolgeuntersuchung, die inzwischen im Forschungslabor von Prof. Rüdiger an der Universität in Wien abgeschlossen wurde. In dieser Studie wurden menschliche Fibroblasten und menschliche Lymphozyten statt einer GSM-Strahlung einer UMTS-Strahlung ausgesetzt (eingereicht<sup>10</sup>). Abb. 1 zeigt den Anstieg der DNA-Strangbruchrate in menschlichen Fibroblasten nach 24-stündiger Exposition mit UMTS-Signalen steigender Intensität. Im Vergleich zur GSM-Strahlung ist die UMTS-Strahlung bei der Erzeugung von DNA-Strangbrüchen ungefähr um den Faktor 10 wirksamer. Abb. 2 zeigt die Zunahme von Mikrokernen unter identischen Expositionsbedingungen. In Abb. 3 und 4 ist die Entstehung von DNA-Strangbrüchen und Mikrokernen in Abhängigkeit von der Dauer der UMTS-Exposition bei gleicher Bestrahlungsintensität (0,1 W/kg) dargestellt. Menschliche Lymphozyten reagierten wie bereits bei der GSM-Exposition auch nicht auf UMTS-Signale.

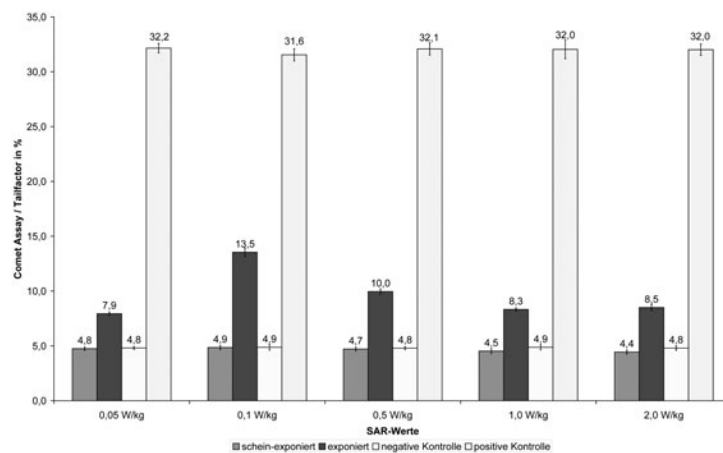


Abb. 1: Anstieg der DNA-Strangbruchrate in menschlichen Fibroblasten nach 24-stündiger UMTS-Bestrahlung steigender Intensität. Positivkontrollen wurden durch Bestrahlung der Fibroblasten mit UV-Licht erhalten. © Arbeitsmedizin, Medizinische Universität Wien

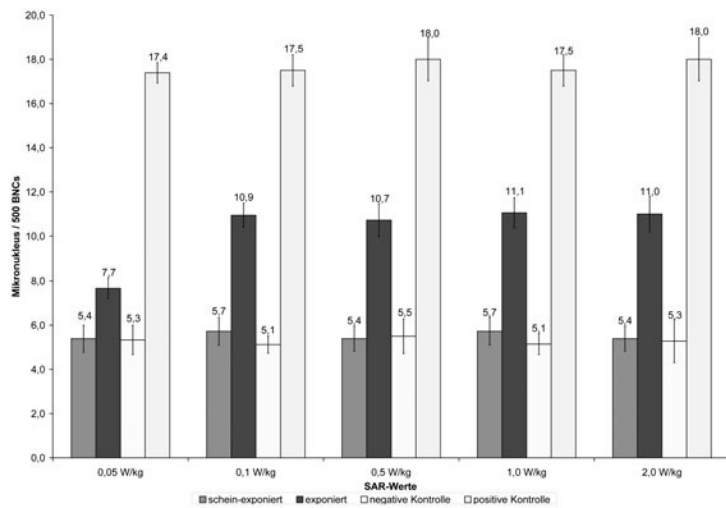


Abb. 2: Anstieg der Mikrokerne in menschlichen Fibroblasten nach 24-stündiger UMTS-Bestrahlung steigender Intensität. Positivkontrollen wurden nach Zugabe von Vincristin erhalten. © Arbeitsmedizin, Medizinische Universität Wien

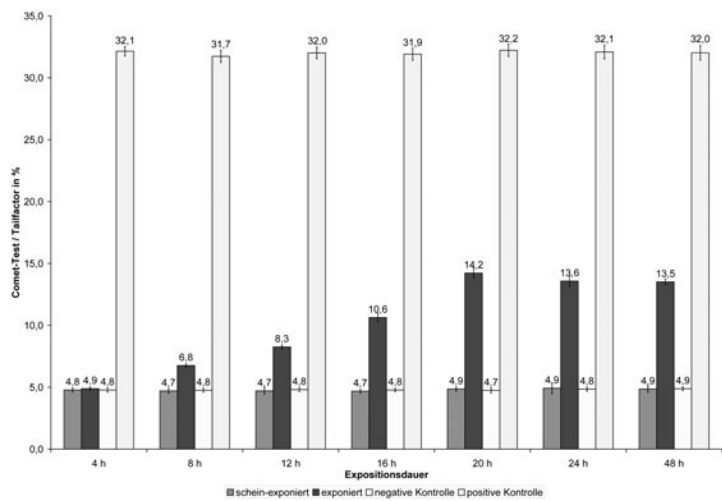


Abb. 3: Anstieg der DNA-Strangbruchrate in menschlichen Fibroblasten in Abhängigkeit von der Dauer der UMTS-Exposition bei einem SAR-Wert von 0,1 W/kg. Positivkontrollen wurden durch Bestrahlung mit UV-Licht erhalten. © Arbeitsmedizin, Medizinische Universität Wien

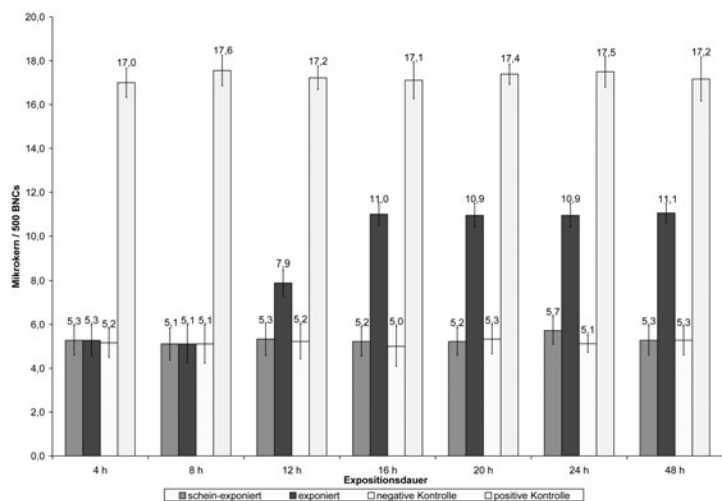


Abb. 4: Anstieg der Mikrokerne in menschlichen Fibroblasten in Abhängigkeit von der Dauer der UMTS-Exposition bei einem SAR-Wert von 0,1 W/kg. Positivkontrollen wurden nach Zugabe von Vincristin erhalten. © Arbeitsmedizin, Medizinische Universität Wien

Tabelle 5: In-vitro Untersuchungen mit Ergebnissen, die für ein gentoxisches Potential der Mobilfunkstrahlung sprechen

Tice et al. (2002) Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells. <i>Bioelectromagnetics</i> 23:113-26	Zunahme von Chromosomenschäden in menschlichen Lymphozyten nach einer 24-stündigen Bestrahlung von Blut mit RF-EMF-Signalen bei einer SAR von 5 W/kg und höher
D'Ambrosio et al. (2002) Cytogetic damage in human lymphocytes following GSMK modulated microwave exposure. <i>Bioelectromagnetics</i> 23:7-13	Zunahme von Mikrokernen in menschlichen Lymphozyten nach einer 15-minütigen Bestrahlung mit phasenmodulierten RF-EMF-Signalen bei einer SAR von 5 W/kg
Mashewich et al. (2003) Exposure of human peripheral blood lymphocytes to electromagnetic fields associated with cellular phones leads to chromosomal instability. <i>Bioelectromagnetics</i> 24:82-90	gentoxische Veränderungen in menschlichen Lymphozyten nach 3-tägiger Bestrahlung mit RF-EMF bei SAR-Werten von 1,6 bis 8,8 W/kg
Friedman et al. (2007) Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies. <i>Biochem J</i> 405:559-68	Nachweis von RF-EMF induzierten Mechanismen, die in isolierten Zellsystemen die Genexpression ebenso wie die Signaltransduktion beeinflussen

Die Ergebnisse der REFLEX-Studie werden von weiten Teilen der wissenschaftlichen Gemeinschaft immer noch angezweifelt. Dabei wird ignoriert, dass längst Publikationen erschienen sind oder sich in Vorbereitung befinden, die zu vergleichbaren Aussagen kommen (Tabelle 5).

Tice et al., D'Ambrosio et al. und Mashewich et al. verwendeten für ihre Untersuchungen menschliche Lymphozyten, die offensichtlich auf hochfrequente elektromagnetische Felder nur ansprechen, wenn die Intensität der Exposition den Richtwert von 2 W/kg deutlich übersteigt. Unter diesen Bedingungen ist jedoch nicht auszuschließen, dass die DNA der Zellen als Folge eines Temperaturanstiegs geschädigt wird. Dass ein solcher Mechanismus auch für die Schädigung der DNA von Fibroblasten bei einem SAR-Wert von 0,3 bzw. 0,05 W/kg wie im REFLEX-Projekt und der Nachfolgeuntersuchung beobachtet verantwortlich ist, erscheint extrem unwahrscheinlich. Es handelt sich offensichtlich um einen athermischen Effekt, dessen Existenz von vielen Wissenschaftlern bis heute angezweifelt wird. Die Tatsache, dass in den meisten bisherigen Untersuchungen zur Gentoxizität Lymphozyten verwendet wurden,<sup>11</sup> erklärt übrigens auch, warum es so lange dauerte, bis das genschädigende Potential von RF-EMF erkannt wurde.

Der im REFLEX-Projekt beobachtete Anstieg der DNA-Strangbruchrate nach GSM-Exposition wurde inzwischen auch von Xu et al., Zhejiang Uni-

versity School of Medicine, China,<sup>12</sup> und Schär et al., Universität Basel, Schweiz (persönliche Mitteilung), bestätigt.

## Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

1. Mehrere epidemiologische Untersuchungen, insbesondere aber die neueren der europäischen Interphonstudie, weisen darauf hin, dass das Risiko für Hirntumoren nach einer Nutzungsdauer des Mobiltelefons von zehn und mehr Jahren erhöht sein könnte. In fast all diesen Studien ist – entsprechend dem geringen Anteil der Besitzer von Mobiltelefonen in der Bevölkerung vor zehn und mehr Jahren – die Anzahl der Fälle mit Hirntumoren zu gering, um bei den Ergebnissen statistische Signifikanz zu erreichen. Deshalb sind diese Studien noch mit großer Unsicherheit behaftet. Die Hinweise, die sich aus ihnen ergeben, befinden sich jedoch im Einklang mit der wissenschaftlich längst gesicherten Vorstellung, dass zwischen der Erstschädigung des Genoms und dem klinischen Nachweis eines bösartigen Prozesses eine Latenzzeit von bis zu 20 und mehr Jahren liegt.
2. Die von zahlreichen Wissenschaftlern bis heute vertretene Vorstellung, dass keine biologischen Wirkungen der Mobilfunkstrahlung bekannt seien, die zur Krebsentstehung beitragen könnten, ist offensichtlich nicht zutreffend. Aus den bisher



vorliegenden Ergebnissen von in-vitro Untersuchungen ergibt sich eindeutig, dass die Mobilfunkstrahlung unterhalb der geltenden Sicherheitsgrenzen fähig ist, in bestimmten lebenden Zellen die Genfunktion zu ändern und darüber hinaus DNA-Strangbrüche zu erzeugen und die Anzahl der Mikrokerne zu erhöhen. Ob diese genotoxischen Wirkungen auch in vivo nachgewiesen werden können, ist bis jetzt nicht ausreichend erforscht. Da jedoch einzelne Forschungsergebnisse durchaus für eine solche Annahme sprechen, ist es das Gebot der Stunde, dies so schnell wie möglich zu überprüfen. Sollte sich der Verdacht bestätigen, müsste – insbesondere im Hinblick auf die bereits vorliegenden epidemiologischen Forschungsergebnisse – ein erhöhtes Hirntumorrisiko bei Mobilfunknutzern als durchaus wahrscheinlich angesehen werden.

3. Auf keinen Fall ist gegenwärtig auszuschließen, dass mit der zunehmenden technischen Nutzung elektromagnetischer Felder auf unsere Gesellschaft ein Gesundheitsproblem großen Ausmaßes zukommen könnte. So lange die Erkenntnislage unzulänglich bleibt, sprechen die bisherigen Forschungsergebnisse zur Mobilfunkstrahlung deshalb dafür, dass das Vorsorgeprinzip zum Schutz der Bevölkerung von den Entscheidungsträgern in Industrie und Politik anerkannt werden sollte. Diese Erkenntnis – nicht beharrliches Leugnen möglicher Risiken – sollte die Grundlage einer zukünftigen Risiko-Kommunikation sein. Tabak, Asbest und Röntgenstrahlen sind Beispiele dafür, dass es Jahrzehnte dauern kann, bis die Wissenschaft endgültige Beweise für ein Gesundheitsrisiko vorzulegen vermag. Rechtzeitiges Handeln könnte uns vielleicht eine späte Lektion ersparen.

## Literaturhinweise

- 1 Muscat JE, Malkin MG, Thompson S, Shore RE, Stellman SD, McRee D, Neugut AI, Wynder EL: Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA* 2000; 284(23):3001-7; Inskip PD, Tarone RE, Hatch EE, Wilcosky TC, Shapiro WR, Selker RG, Fina HA, Black HM, Loeffler JS, Linet MS: Cellular-telephone use and brain tumors. *N Engl J Med* 2001; 344(2):79-86; Johansen C, Boice J Jr, McLaughlin J, Olsen J: Cellular telephones and cancer a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst* 2001; 93 (3):203-7; Warren HG, Prevatt AA, Daly KAS, Antonelli PJ: Cellular telephone use and risk of intratemporal facial nerve tumour. *Laryngoscope* 2003; 113(4):663-7; Christensen HC, Schüz J, Kosteljanetz M, Poulsen HS, Boice JD Jr, McLaughlin JK, Johansen C: Cellular telephones and risk for brain tumors: a population-based, incident case-control study. *Neurology* 2005; 64(7):1189-95; Takebayashi T, Akiba S, Kikuchi Y, Taki M, Wake K, Watanabe S, Yamaguchi N: Mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Occup Environ Med* 2006; 63(12):802-7; Schüz J, Jacobsen R, Olsen JH, Boice JD, McLaughlin JK, Johansen C: Cellular telephone use and cancer risk: Update of a nationwide Danish cohort. *J Natl Cancer Inst* 2006; 98(23):1707-13
- 2 Kundi M, Mild K, Hardell L, Mattsson MO: Mobile telephones and cancer – a review of epidemiological evidence. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2004; 7(5):351-84
- 3 Krewski D, Glickmann BW, Habash RW, Habbick B, Lotz WG, Mandeville R, Prato FS, Salem T, Weaver DF: Recent advances in research on radiofrequency fields and health: 2001 – 2003. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2007; 10(4):287-318
- 4 Tillmann T, Ernst H, Ebert S, Kuster N, Behnke W, Rittinghausen S, Dasenbrock C: Carcinogenicity study of GSM and DCS wireless communication signals in B6C3F1 mice. *Bioelectromagnetics* 2007; 28(3):173-87
- 5 Shirai T, Ichihara T, Wake K, Watanabe SI, Yamanaka Y, Kawabe M, Taki M, Fujiwara O, Wang J, Takahashi S, Tamano S: Lack of promoting effects of chronic exposure to 1.95-GHz W-CDMA signals for IMT-2000 cellular system on development of N-ethylnitrosourea-induced central nervous system tumors in F344 rats. *Bioelectromagnetics* 2007; Epub ahead of print
- 6 Vgl. Anm. 3; Meltz ML: Radiofrequency exposure and mammalian cell toxicity, genotoxicity, and transformation. *Bioelectromagnetics* 2003; Suppl 6:S196-213; Vijayalaxmi, Obe G: Controversial cytogenetic observations in mammalian somatic cells exposed to radiofrequency radiation. *Radiat Res* 2004; 162(5):481-96
- 7 Diem E, Schwarz C, Adlkofer F, Jahn O, Rüdiger HW: Non-thermal DNA breakage by mobile phone radiation in human fibroblasts and transformed GFSH-R17 (rat granulosa) cells in vitro. *Mutat Res* 2005; 583(2):178-83; REFLEX: Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards From Low Energy Electromagnetic Field Exposure Using Sensitive in vitro Methods. A project funded by the European Union under the programme „Quality of Life and Management of Living Resources“, Key Action 4 „Environment and Health“; Contract: QLK4-CT-1999-01574, Start date: 01 February 2000, End date: 31 May 2004. Final Report 2004; <http://www.verum-foundation.de/reflex>
- 8 Vgl. Anm. 7, REFLEX
- 9 Vgl. Anm. 7, REFLEX; Leszczynski D, Joenväära S, Reivinen R, Kuokka R: Non-thermal activation of hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: Molecular mechanisms for cancer- and blood-brain-barrier-related effects. *Differentiation* 2002; 70(2-3):120-9; Nylund R, Leszczynski D: Proteomics analysis of human endothelial cell line EA.hy926 after exposure to GSM 900 radiation. *Proteomics* 2004; 4(5):1359-65; Czyz J, Guan K, Zeng Q, Nikolova T, Meister A, Schönborn F, Schuderer J, Kuster N, Wobus AM: High frequency electromagnetic fields affect gene expression levels in tumor suppressor p53-deficient embryonic stem cells. *Bioelectromagnetics* 2004; 25(4):296-307
- 10 Schwarz C, Kratochvil E, Pilger A, Kuster N, Adlkofer F, Rüdiger HW: Radiofrequency electromagnetic fields (UMTS, 1950 MHz) induce genotoxic effects in vitro in human fibroblasts but not in lymphocytes. 2007 eingereicht
- 11 Vgl. Anm. 7, REFLEX
- 12 RF-induced DNA breaks reported in China. *Microwave News*, Sept 29, 2005. [http://www.microwavenews.com/nc\\_sep2005.html](http://www.microwavenews.com/nc_sep2005.html)