

Gentoxische und karzinogene Wirkungen von Mobilfunkfeldern

Die Frage, ob Mobilfunkfelder Krebs erzeugen können, beschäftigt Wissenschaft und Öffentlichkeit – vor allem die – seit Jahrzehnten. Das „Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks“ (SCENHIR) der EU behandelt die Thematik „Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)“ in seiner neuesten „Opinion“ auf 288 Seiten mit über 2.500 Literaturzitaten [1]. Die Problematik birgt einige Brisanz: Das „Informationszentrum Mobilfunk“ prognostiziert, dass in diesem Jahr weltweit mehr als 7 Milliarden Mobiltelefone in Gebrauch sein werden, mit anderen Worten, nominal benutzt jeder Erdenbürger ein Handy. Die dem Gesundheitsschutz verpflichteten Organisationen tragen dem Rechnung. Schon im Jahre 1996 startete die Weltgesundheitsorganisation WHO das internationale EMF-Projekt, das bis heute fortgeführt wird. Auch die deutsche Strahlenschutzkommission hat einen Ausschuss „Nichtionisierende Strahlen“, der sich in vielfacher Weise mit den möglichen Gefahren der Mobilfunknutzung auseinandergesetzt hat. Ähnliche Aktivitäten gibt es in anderen Ländern.

Untersuchungen zur Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder

Einen gewissen Kulminationspunkt erreichte die Debatte über Wirkungen von Mobilfunkfeldern mit der Eingruppierung hochfrequenter elektromagnetischer Felder als „möglicherweise krebserregend“ („possibly carcinogenic“) durch die „International Agency for Research on Cancer“ (IARC), eine Unterorganisation der WHO [2]. Je nach persönlicher Einschätzung wurde dies einerseits mit Verwunderung aufgenommen, andererseits als Zeichen real existierender Gefährdung gedeutet. Die Aufregung

„Möglicherweise krebserregend“

hat sich mittlerweile gelegt, wohl zu Recht, denn reduziert man die Klassifizierung auf ihren tatsächlichen Gehalt, dann ist sie wenig sensationell. Sie kann auf praktisch alle Umwelt- und

Nahrungsfaktoren angewandt werden. Da es aus philosophischen Gründen unmöglich ist, zu beweisen, dass ein Gefährdungspotenzial nicht existiert, ist eine Aussage, dass ein Agens möglicherweise mit einem Risiko behaftet ist, zulässig, allerdings auch von geringem Aussagewert.

Die IARC hat im Jahre 2011 eine umfangreiche Monografie zur Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder publiziert, in welcher praktisch alle Veröffentlichungen zur Thematik besprochen werden [3]. Sie liefert implizit auch eine Begründung für die ausgesprochene Klassifizierung. In der Literatur gibt es eine Vielzahl von Übersichtsartikeln zur gentoxischen oder karzinogenen Wirkung von Radiofrequenzfeldern. Es ist nicht das Ziel dieses Aufsatzes, diese Liste noch zu verlängern, vielmehr soll auf einige grundsätzliche Probleme hingewiesen und der derzeitige Stand referiert werden, wobei vor allem auf europäische

und deutsche Initiativen eingegangen wird. Die Sicht ist notwendigerweise subjektiv, was eigentlich eine überflüssige, da selbstverständliche Feststellung darstellt, sie ist jedoch angezeigt, da die gesamte Diskussion eine deutliche ideologische Komponente aufweist, was die wissenschaftliche Diskussion erschwert. In vielen Veröffentlichungen werden nur solche Arbeiten

zitiert, welche die eigene Position stützen, wie man auch das Gefühl nicht unterdrücken kann, dass bei Publikationen zur angesprochenen Problematik das „Peer Review“-System nicht immer optimal funktioniert.

Epidemiologische Studien ergeben keine belastbaren Hinweise auf einen generellen Zusammenhang zwischen der Exposition durch Mobilfunkfelder und der Inzidenz von Tumoren, aber sie überstreichen nur einen relativ kurzen Zeitraum, deshalb wird zu Recht darauf hingewiesen, dass man nicht auszuschließenden Langzeitfolgen nachgehen müsse. Aus dieser Sachlage ergibt sich das große Interesse am Studium gentoxischer Effekte auf zellulärer Ebene, die – so sie zweifelsfrei nachgewiesen würden – ein starkes Indiz für eine karzinogene Wirkung darstellen würden. Die Frage, ob Mobilfunkfelder tumorpromovierend wirken, d. h. durch andere Einflüsse entstandene Tumoren in ihrem Wachstum beschleunigen, würde aus aktuellem Kenntnisstand eine etwas längere Erörterung beanspruchen und muss hier aus Platzgründen (leider) außer Acht bleiben.

Grundsätzliche Problematik

Die heute verwendeten Mobilfunkfrequenzen liegen im Bereich 900 MHz (GSM 900) und 2.600 MHz (LTE 2600), die Quantenenergien erstrecken sich somit von 3×10^{-6} bis 1×10^{-5} eV und sind also um mehrere Größenordnungen niedriger als diejenigen ionisierender Strahlen. Aus diesem Vergleich ist unmittelbar klar, dass die primä-

Diskussion mit ideologischer Komponente

ren Wechselwirkungen fundamental anders sind und Erkenntnisse zu biologischen Effekten nicht übertragen werden können.

Hochfrequente elektromagnetische Felder wechselwirken vor allem mit Wassermolekülen, die bekanntlich ein Dipolmoment besitzen. Ihre Bewegung führt zu einer Erwärmung des exponierten Mediums. Dies ist der einzige unbestrittene gut verstandene Wechselwirkungsmechanismus. Die Temperaturerhöhung hängt von der Intensität des eingestrahlten Feldes ab. Gentoxische oder karzinogene Effekte lassen sich hierdurch nicht erklären, aus diesem Grunde sucht man seit Jahren nach „athermischen“ Mechanismen. Es gibt eine ganze Reihe von Vorschlägen, z. B. die Anregung von Schwingungs- oder Rotationsmoden in wichtigen Biomolekülen. Diese Möglichkeit ist auszuschließen, da dies nur bei

Wechselwirkung mit Wassermolekülen

erheblich höheren Frequenzen (im Infrarotbereich) möglich ist. Eine heute favorisierte Hypothese ist die Freisetzung oder Verstärkung reaktiver Sauerstoffradikale („Reactive Oxygen Species“, ROS), die ihrerseits Biomoleküle schädigen könnten. Die experimentelle Evidenz hierfür ist bestenfalls als „schwach“ einzustufen.

Gentoxische Wirkungen

Die Literatur ist voll von widersprüchlichen Ergebnissen in Bezug auf gentoxische Effekte. Dies hängt auch von den besonderen Schwierigkeiten bei der experimentellen Durchführung ab. Es ist nämlich nicht einfach, Expositionsapparaturen zu konstruieren, welche eine wohldefinierte gleichmäßige Feldverteilung in den untersuchten biologischen Objekten sicherstellen. In Bezug auf die Identifizierung „athermischer“ Effekte muss ausgeschlossen werden, dass lokale Überwärmungen auftreten. Diese Forderung schließt auch ein sonst gängiges, vor allem bei

ionisierenden Strahlen angewandtes Verfahren aus, nämlich von der Wirkung hoher Dosen auf die niedriger Expositionen zu extrapolieren: „Athermische“ Effekte kann es – so sie überhaupt existieren – nur bei niedrigen Expositionen geben.

Wenn biologische Wirkungen festgestellt werden, so ist ihr Ausmaß in der Regel gering und am Rande statistischer Signifikanz. Um auch unbewusste subjektive Beeinflussungen bei der Datenerhebung auszuschließen, gehört es zur „guten Laboratoriums- praxis“, alle Versuche „verblindet“ durchzuführen, d. h., der Auswerter weiß nicht, ob und mit welcher Dosis die Proben behandelt wurden. Auch ist es unabdingbar, gewonnene Resultate (seien sie positiv oder auch negativ (!)) durch unabhängige Replikationen abzusichern. In dieser Hinsicht besteht noch erheblicher Handlungsbedarf.

Für als zuverlässig anzusehende Experimente ist also eine Reihe von durchaus anspruchsvollen Bedingungen zu erfüllen, denen viele publizierte Untersuchungen nicht genügen, vor allem diejenigen älteren Datums nicht. Da es unmöglich und auch nicht beabsichtigt ist, einen umfassenden Literaturüberblick zu geben, soll hier nur auf einige neuere internationale oder national koordinierte Programme eingegangen werden. Hier besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass Expositionsbedingungen und Versuchsdurchführung zu fordernden Standards entsprechen, wenn leider auch die Erfahrung zeigt, dass selbst diese Minimalerwartungen nicht immer erfüllt sind.

Neuere Programme zur Erforschung der Gentoxizität: REFLEX¹, PERFORM B, Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm
Mit Unterstützung der EU wurde im Jahre 2000 ein Forschungsvorhaben

1) REFLEX steht für „risk evaluation of potential environmental hazards from low energy electromagnetic field exposure using sensitive in vitro methods“

gestartet, an dem 12 Arbeitsgruppen aus 7 europäischen Ländern beteiligt waren. Die Projektleitung war bei der VERUM-Stiftung angesiedelt, die Koordination lag bei Prof. Franz Adlkofer. Von einigen (aber durchaus nicht allen) beteiligten Arbeitsgruppen wurden bei In-vitro-Experimenten gentoxische Effekte gefunden, welche den Projektkoordinator im Abschlussbericht [4] zu der im folgenden Kasten dokumentierten Feststellung veranlassten.

Noch erheblicher Handlungsbedarf

Feststellung aus dem Abschlussbericht [4]

„... there exists no justification anymore to claim, that we are not aware of any pathophysiological mechanisms which could be the basis for the development of functional disturbances and any kind of chronic diseases in animal and man.“

Die REFLEX-Studie erregte beträchtliches Interesse in der wissenschaftlichen Community und Aufregung in Teilen der Öffentlichkeit, was das Bundesamt für Strahlenschutz [5] zu einer eingehenden kritischen Prüfung veranlasste. Es weist darauf hin, dass sich besonders die von den Arbeitsgruppen Tauber (Berlin) und Rüdiger (Wien) mitgeteilten Befunde im Widerspruch zu den Untersuchungen vieler anderer Autoren befinden und dringend einer unabhängigen Reproduzierung bedürftig sind. Diese Versuche sind zwischenzeitlich durchgeführt worden. In beiden Fällen konnten die ursprünglichen Ergebnisse nicht bestätigt werden [6]. In Bezug auf zytogenetische Parameter ist dies im Einklang mit den Resultaten eines ebenfalls EU-geförderten Vorhabens – PERFORM B –

[7], in welchem 2 auf dem Gebiet der Zytogenetik wohl etablierte Arbeitsgruppen aus England und Italien versuchten, in der Literatur mitgeteilte gentoxische Wirkungen zu reproduzieren, was in keinem Fall gelang.

Die SSK hat sich sehr eingehend mit der Frage möglicher gentoxischer Effekte befasst, u. a. in einem Fachgespräch, in welchem allen Teilnehmern der REFLEX-Studie Gelegenheit geboten wurde, ihr Ergebnisse darzustellen. Den Abschluss dieser Bemühungen bildete die Publikation des Berichtes „Wirkung hochfrequenter Felder auf das Genom: Genotoxizität und Genregulation“ [8]. In der Stellungnahme heißt es:

Feststellung aus „Wirkung hochfrequenter Felder auf das Genom: Genotoxizität und Genregulation“ [8]

„Aufgrund der Auswertung der wissenschaftlichen Literatur bis Oktober 2006 stellt die SSK fest:

- Auch aus der neueren Literatur ergibt sich kein wissenschaftlich begründeter Verdacht auf eine gentoxische Wirkung von HF-Feldern.
- Auch aus der neueren Literatur ergibt sich kein wissenschaftlich begründeter Verdacht auf einen Einfluss von HF-Feldern auf die Genregulation.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studien geben daher insgesamt keinen Anlass, von einer gesundheitsgefährdenden Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Genom auszugehen.“

Auch aus heutiger Sicht ist dem nichts hinzuzufügen.

Um aber den immer noch vorhandenen Bedenken gegenüber der Mobilfunktechnologie Rechnung zu tragen,

empfahl die SSK ein groß angelegtes „Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm“, das anteilig vom Bund und der Industrie finanziert wurde [9]. Die Abwicklung lag beim BfS, wodurch auch eine Beeinflussung durch die Geldgeber ausgeschaltet wurde. In den insgesamt 54 Einzelvorhaben wurden verschiedenste Aspekte untersucht. Die Genotoxizität war dabei nur einer von vielen. In einem Ringversuch sollte so etwas wie „Reflex reloaded“ veranstaltet werden. Die Ergebnisse [10] ergaben keine belastbaren Hinweise auf Genotoxizität.

Die Versuche wurden an Lymphozyten des peripheren Blutes durchgeführt, was bei ionisierenden Strahlen einen anerkannten Standard darstellt.

Von Kritikern (vor allem aus dem REFLEX-Konsortium) wurde dies bemängelt, da nach ihrer Ansicht Effekte auf Fibroblasten beschränkt seien. Um auch diesen Einwänden zu genügen, wurde

(nicht mehr im Rahmen des Mobilfunk Forschungsprogramms) ein Anschlussvorhaben initiiert, dessen Ergebnisse nun vorliegen – allerdings noch nicht in einer Fachzeitschrift publizierten Form, sondern nur als Abschlussbericht [11].

Es wurde eine große Zahl biologischer Endpunkte untersucht, die über die im REFLEX-Programm studierten deutlich hinausgehen, außerdem erfolgte eine sehr sorgfältige statistische Analyse. In keinem Fall konnte eine signifikante durch die Befeldung hervorgerufene Genotoxizität festgestellt werden. Damit dürfte die Angelegenheit für die Effekte auf zellulärer Ebene erledigt sein.

Die SSK hat in einer zusammenfassenden Stellungnahme das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm analysiert und bewertet [12] und kommt in Bezug auf die vorliegende Problematik zu dem im folgenden Kasten dargestellten Schluss.

Stellungnahme der SSK 2011

„Die weit überwiegende Mehrheit der publizierten Ergebnisse stützt jedoch nicht die Vermutung, dass Mobilfunkfelder im Bereich der Grenzwerte gentoxische Veränderungen hervorrufen.“

Epidemiologische Studien

Die Klassifizierung durch die IARC stützte sich vor allem auf epidemiologische Studien. Die wichtigste ist sicher die „Interphone Study“, eine Fall-Kontroll-Studie, an der Forschergruppen aus insgesamt 13 Ländern beteiligt waren und die 6.420 Fälle

verschiedener Kopftumore und 7.658 Kontrollen umfasste [13]. Da für die Ermittlung persönlicher Expositionsdaten keine Messmethoden zur Verfügung stehen, wurden diese durch Befragung der Betroffenen retrospektiv abgeschätzt. Für die beiden wichtigsten Tumoridentitäten, Gliome (maligne Hirntumoren) und Meningiome (benigne, d. h. nicht metastasierende Hirntumore), sind die Ergebnisse in Abbildung 1 dargestellt.

Bei den Meningiomen zeigt sich in keinem Fall eine signifikante Zunahme des Krankheitsrisikos, bei den Gliomen nur in der Gruppe mit den längsten angegebenen Gesprächsdauern.

Bemerkenswert ist, dass bei beiden Tumorarten in einigen Expositionsgruppen die Risiken signifikant erniedrigt sind. Dies wird generell als unplausibel eingeschätzt und auf Fehler bei der Datenerhebung zurückgeführt. Das mag richtig sein, aber es bleibt festzustellen, dass von 20 Datensätzen 11 ein signifikant reduziertes Risiko aufweisen und nur einer ein erhöhtes. Die gängige Diskussion dürfte

Verschiedenste Aspekte untersucht

Keine signifikante Genotoxizität

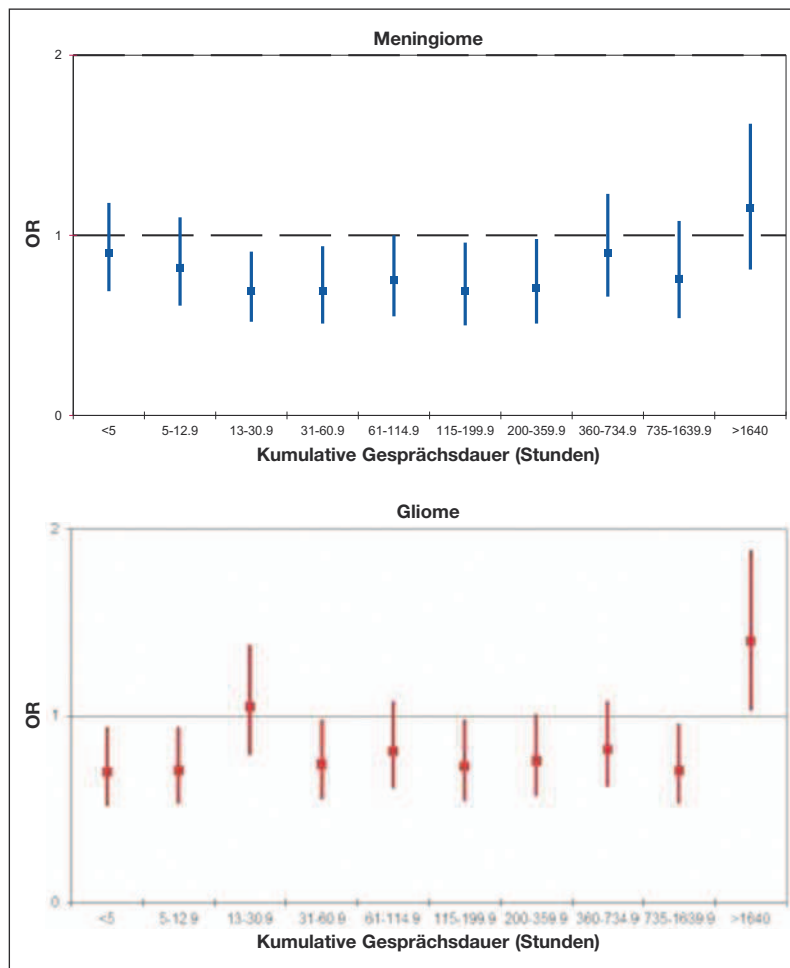


Abb. 1: „Odds Ratios“ (OR), Schätzwerte für das relative Risiko, bei Gliomen und Meningiomen in Abhängigkeit von den abgeschätzten Gesamtgesprächsdauern [13]

sehr von einer gewissen Erwartungshaltung gesteuert sein: Zugegebenermaßen lässt sich eine Schutzwirkung kaum erklären, aber auch die Risikozunahme ist wissenschaftlich nur schwer zu begründen, dennoch wird das Studienergebnis in dieser Richtung interpretiert, während die sehr viel häufiger gefundene Schutzwirkung als „offenbar unsinnig“ abgetan wird.

Retrospektive Befragung der Betroffenen

Es gibt andere Studien, welche höhere Werte angeben, aber die Studienkollektive sind kleiner als bei der Interphone-Studie, außerdem gibt es methodische Schwächen. Eine eingehende Diskussion der Gesamtproblematik findet man bei SCENHIR [1] und Repacholi et al. [14]. Die Auto-

ren kommen zu dem Schluss, dass eine kausale Verknüpfung von Hirntumoren und Mobilfunkfeldern durch die vorliegenden Studien nicht gestützt wird, wobei die Einschränkung zu machen ist, dass die Beobachtungszeiten naturgemäß noch kurz und Langzeitriskiken nicht auszuschließen sind. Um hierüber weitere Informationen zu erhalten, wurde eine große internationale Studie namens COSMOS aufgelegt, deren Ziel darin besteht, 300.000 erwachsene Mobilfunknutzer über 30 Jahre in Bezug auf ihre gesundheitlichen Risiken zu beobachten (Deutschland ist daran nicht beteiligt, da aufgrund einer „Machbarkeitsanalyse“ nach hiesiger Einschätzung der Ausgang zu unsicher ist, um den Aufwand zu rechtfertigen). Einzelheiten zu dem Programm findet man

auf der Website des Imperial College London [15].

Eine oft angesprochene Frage ist, ob Kinder besonderen Gefährdungen ausgesetzt sind. Die SSK verneinte dies in einer Stellungnahme aus dem Jahre 2006 auf der Grundlage der damals vorliegenden Information, betonte aber die Vorläufigkeit der Aussage. Sie wird in Bezug auf Hirntumoren gestützt durch eine epidemiologische Untersuchung („CEFALO“) eines internationalen Konsortiums [16]. Aber auch hierzu gibt es ein neues internationales Studienprojekt, „Mobi-Kids“, an dem 16 Länder beteiligt sind [17]. Es konzentriert sich auf Hirntumoren und hat eine relativ kurze Laufzeit (2009–2015), sodass Ergebnisse bald zu erwarten sein dürften. Ob die Konzentration auf Hirntumoren noch realitätsbezogen ist, mag man infrage stellen, da heutzutage sich die Aktivitäten Jugendlicher mehr und mehr auf das Versenden von Kurznachrichten anstelle des Telefonierens verlagern.

Beobachtungszeiten noch kurz

Persönliche Schlussbemerkung

Die Frage, ob bei der heutigen Nutzung der Mobilfunktechnologie Gefahren für die menschliche Gesundheit aufgrund gentoxischer oder karzinogener Schäden befürchtet werden müssen, kann auf der Basis einer großen Zahl von Untersuchungen und in Übereinstimmung mit der Einschätzung zahlreicher nationaler und internationaler Gremien nach derzeitigem Kenntnisstand mit „Nein“ beantwortet werden. Es wäre vielleicht an der Zeit, bei der Erforschung nur vermuteter oder postulierter Zusammenhänge ein Moratorium einzulegen und die nur begrenzt zur Verfügung stehenden Forschungsmittel zur Lösung anderer Probleme einzusetzen.

Jürgen Kiefer □