

Hochfrequente Strahlung und Gesundheit – eine Literaturanalyse

M. Rössli^{1,2}
R. Rapp¹
C. Braun-Fahrlander¹

Radio and Microwave Frequency Radiation and Health – an Analysis of the Literature

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Darstellung des gegenwärtigen wissenschaftlichen Kenntnisstandes in der Erforschung von möglichen Gesundheitsrisiken durch hochfrequente Strahlung bei Strahlenbelastungen, denen die Bevölkerung typischerweise im täglichen Leben ausgesetzt ist. Grundlage bilden experimentelle Studien an Menschen sowie epidemiologische Untersuchungen, die Effekte von Strahlungsemittern im hochfrequenten Bereich (ca. 100 kHz bis 10 GHz) untersuchten. Die relevanten Studien wurden mittels systematischer Literaturrecherche in den Datenbanken Medline und ISI Web of Science eruiert. Es hat sich gezeigt, dass für eine abschließende Beurteilung der Gesundheitsgefährdung im Niedrigdosisbereich die wissenschaftliche Datenlage zurzeit unbefriedigend ist. Langzeitstudien an Menschen in ihrer natürlichen Umgebung gibt es nur wenige. Entsprechend wenig kann über langfristige Gesundheitsrisiken ausgesagt werden. Es gibt einzelne Hinweise, dass Tumoren des Blut bildenden und lymphatischen Systems in der Umgebung von TV- und Radiosendern häufiger als erwartet auftreten. Die entsprechenden Studien sind jedoch widersprüchlich und weisen methodische Schwächen auf. Untersuchungen zum Hirntumorrisiko von Mobiltelefonbenutzern fanden bisher kein erhöhtes Risiko. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die durchschnittliche Mobiltelefonbenutzung in den untersuchten Kollektiven kürzer als die Latenzzeit von Hirntumoren war. Deshalb und aufgrund von Hinweisen in einigen Studien kann eine Assoziation zwischen langjährigem Mobiltelefongebrauch und einem erhöhten Hirntumorrisiko zurzeit nicht ausgeschlossen werden. Experimentelle Studien belegen unmittelbare Wirkungen der Hochfrequenzstrahlung, die nicht mit einem konventionellen Erwärmungsansatz erklärt werden können. Diese unmittelbaren Wirkungen liegen im Schwankungsbereich von normalen Wer-

Abstract

This paper gives an overview of present scientific knowledge in health research on the effects from radio and microwave frequency radiation, at levels to which the general population is typically exposed. The review is based on human experimental and epidemiological studies investigating the effects of radiation in the frequency range between 100 kHz and 10 GHz. The relevant studies were identified via systematic searches of the databases Medline and ISI Web of Science. The review concludes that the existing scientific knowledge base is too limited to draw final conclusions on the health risk from exposure in the low-dose range. Only few studies have investigated the effect of long-term exposure on the general population in the normal environment. Accordingly, little can be predicted regarding long-term health risks. Various studies observed an increased risk for tumours in the hematopoietic and lymphatic tissue of people living in the proximity of TV and radio broadcast transmitters. However, methodological limitations to these studies have been identified and their findings are controversial. In studies of a possible association between brain tumours and mobile phone use, the average period mobile phones use was short compared to the known latency period of brain tumours. Although these studies did not establish an overall increased risk of brain tumours associated with mobile phone use, there were some indications of an association. Immediate effects associated with mobile phone use have been observed in human experimental studies that cannot be explained by conventional thermal mechanisms. The observed effects are within the normal physiological range and are therefore hard to interpret with respect to an increased risk to health. However, it can be concluded that mechanisms other than the established thermal mechanisms exist. Because of the present fragmentary scientific database, a precautionary ap-

Institutsangaben

¹ Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Basel

² Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Bern

Korrespondenzadresse

Martin Rössli · Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Basel · Steinengraben 49 · CH-4051 Basel, Switzerland · E-mail: Roeoesli@ispm.unibe.ch

Bibliografie

Gesundheitswesen 2003; 65: 378–392 © Georg Thieme Verlag Stuttgart · New York · ISSN 0941-3790

ten und es ist schwierig, sie im Hinblick auf eine mögliche Gesundheitsgefährdung zu interpretieren. Sie zeigen jedoch, dass es noch andere biologische Wirkungsmechanismen gibt als die etablierten thermischen Wirkungen. Da die bisherigen, noch lückenhaften wissenschaftlichen Studien eine gesundheitliche Unbedenklichkeit weder ausschließen noch positiv belegen, ist für jeden Einzelnen als auch für die Bevölkerung als Ganzes ein vorsorgeorientierter Ansatz im Umgang mit nichtionisierender Strahlung zu empfehlen.

Schlüsselwörter

Mobilfunkstrahlung · nichtionisierende Strahlung · hochfrequente Strahlung · Tumoren · Gesundheitsstörung

proach when dealing with radio and microwave frequency radiation is recommended for the individual and the general population.

Key words

Mobile phone radiation · non ionising radiation · radio and microwave frequency radiation · tumours · symptoms of ill health

Einführung

In den letzten Jahren hat sich der Mobilfunk nahezu flächendeckend in ganz Europa ausgebreitet. Mit der Einführung der Mobilfunktechnik auf breiter Basis gewann auch die Frage nach möglichen gesundheitlichen Risiken der Hochfrequenzstrahlung für die Allgemeinbevölkerung verstärkt an Aktualität.

Beim Mobilfunk werden für die Übermittlung hochfrequente Wellen als Trägerfrequenz eingesetzt. Die zu übermittelnde Information wird dabei in geeigneter Form aufgeprägt. Hochfrequente Wellen repräsentieren nur einen Teil des ganzen elektromagnetischen Spektrums. Es besteht weiter aus statischen und niederfrequenten Feldern (entstehen hauptsächlich im Zusammenhang mit der Erzeugung und dem Gebrauch der Elektrizität) sowie der Infrarotstrahlung, dem sichtbaren Licht, der UV-Strahlung und der ionisierenden Strahlung (siehe Abb. 1). Außer dem Mobilfunk sind weitere typische Anwendungen von hochfrequenten Feldern die Funktechnik, TV- und Radioübermittlung, Mikrowellenöfen, Radar sowie Anwendungen in der Industrie und Medizin. Die Art der Strahlung (z. B. Modulation, Polarisati-on etc.) kann dabei jedoch sehr unterschiedlich sein.

Es ist unbestritten, dass hochfrequente elektromagnetische Strahlung bei hoher Intensität zu einer Erwärmung des Gewebes führt und infolge dessen gesundheitsschädigend wirken kann [1]. Diese Effekte sind in der Gesetzgebung berücksichtigt. So hat die ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) Richtwerte abgeleitet, die eine schädliche Erwärmung des Körpergewebes verhindern. Für die Mobilfunkfrequenz wurde ein Richtwert von 41 V/m (900 MHz) bzw. 58 V/m (1800 MHz) bestimmt, der in der Folge in den meisten EU-Ländern, darunter auch Deutschland, als Grenzwert übernommen wurde. Seit Jahrzehnten besteht jedoch eine Kontroverse darüber, ob auch unterhalb der Schwelle für eine relevante Gewebeerwärmung (<1°C) schädliche Gesundheitseffekte auftreten können. Aufgrund der wissenschaftlichen Unsicherheiten über solche potenziellen Wirkungen im Niedrigdosisbereich haben einige Staaten zusätzliche strengere Grenzwerte eingeführt. In Italien darf an Orten, wo sich Menschen länger als 4 Stunden aufhalten, die hochfrequente Strahlung nicht höher als 6 V/m sein. Dieser Grenzwert gilt generell auch in den meisten osteuropäischen Ländern. In der Schweiz wurden Vorsorgewerte festgelegt, die 10-mal tiefer als die ICNIRP-Empfehlungen sind und im Wohnbereich (Orte mit empfindlicher Nutzung) durch die Strahlung einer einzelnen Sendeanlage (Radio, Mobilfunk) nicht überschritten werden dürfen.

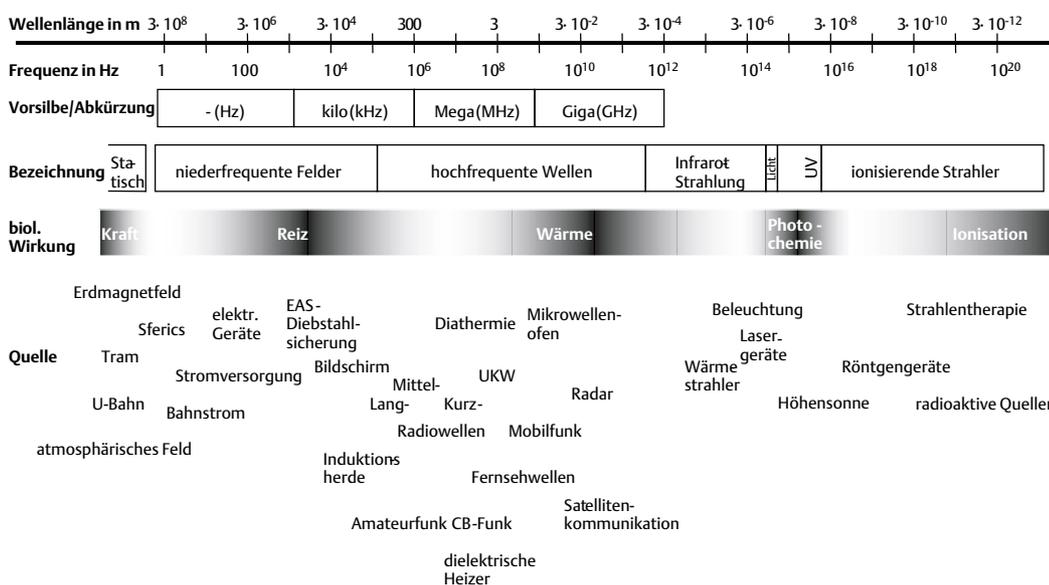


Abb. 1 Übersicht über das elektromagnetische Frequenzspektrum und die wichtigsten Quellen.

Ziel dieser Arbeit ist die Darstellung des gegenwärtigen Kenntnisstandes in der Erforschung von möglichen Gesundheitsrisiken durch Mobilfunkstrahlung bei Strahlenbelastungen, denen die Bevölkerung typischerweise im täglichen Leben ausgesetzt ist. Dabei sind auch verschiedene Schwierigkeiten diskutiert, die sich bei der naturwissenschaftlich-medizinischen Auseinandersetzung mit der Thematik ergeben.

Methode

Basis für diese Übersichtsarbeit ist ein ausführlicher Bericht zum Stand der Forschung über gesundheitliche Auswirkungen durch hochfrequente Strahlen, der im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft der Schweiz verfasst wurde [2]. Gleichzeitig wurde eine systematische Sammlung von wissenschaftlichen Artikeln am Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Basel (Schweiz) angelegt und der Öffentlichkeit im Internet zugänglich gemacht (<http://www.unibas.ch/elmar>). Es handelt sich um Studien an Menschen; sowohl um experimentelle als auch um epidemiologische Studien. Studien an Menschen werden von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) bei der Bewertung von Risiken durch hochfrequente Strahlung als am relevantesten erachtet [3]. Die Studien wurden in den Online-Literaturdatenbanken Medline (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi>) und der ISI Web of Science (<http://wos.isiglobalnet.com/>) mit standardisierten Suchkriterien herausgesucht. Die Vollständigkeit der Literaturrecherche wurde einerseits mit der Suchfunktion Related Articles geprüft; andererseits wurden Übersichtsberichte und die quartalsweise publizierten Abstracts von Bener zu dieser Thematik [4] gesichtet.

Jeder Artikel wurde vor der Aufnahme in die Datenbank kritisch begutachtet und bewertet. Es wurde geprüft, wie wahrscheinlich die Studienresultate durch Zufall oder durch systematische Fehler, wie Störgrößen (Confounder), Selektionsbias, Informationsbias und Publikationsbias, zustande gekommen sind. Mit Hilfe von Kriterien, die von Hill abgeleitet wurden [5], wurde die Kausalität gefundener Zusammenhänge beurteilt. Für die Bewertung des Gesundheitsrisikos der Mobilfunkstrahlung wurden Studien als relevant erachtet, die Effekte von Emittenten im hochfrequenten Bereich (ca. 100 kHz bis 10 GHz) untersuchten. Dabei wurde berücksichtigt, dass verschiedene Emissionsquellen eine unterschiedliche Charakteristik der Strahlung aufweisen. Zudem exponieren verschiedene Emittenten die Bevölkerung in unterschiedlicher Art und Weise (z. B. Mobiltelefon, Mobilfunkbasisstationen, TV-/Radiosender, Radar, medizinische Applikationen etc.).

Für jeden bisher untersuchten Effekt im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung wurde auf der Basis aller dazu relevanten Studien die Evidenz für das Vorhandensein des Effektes auf einer differenzierten fünfstufigen Skala wie folgt bewertet:

- **gesichert:** Der Effekt hält einer streng wissenschaftlichen Beweisführung stand. Er ist mehrfach reproduziert und steht nicht im Widerspruch zu anderen Forschungsergebnissen. Es gibt einen plausiblen Wirkungsmechanismus.
- **wahrscheinlich:** Der Effekt wurde mehrfach und relativ konsistent festgestellt. Ein plausibler Wirkungsmechanismus fehlt.

- **möglich:** Es bestehen einzelne Hinweise für den Effekt. Die Ergebnisse sind insgesamt nicht konsistent und möglicherweise auf methodische Schwächen in den Studien zurückzuführen.
- **unwahrscheinlich:** Es gibt keine Hinweise für den Effekt, aber mehrfache Hinweise für seine Abwesenheit.
- **nicht beurteilbar:** Die Datenlage ist für eine Aussage zu spärlich. Die Untersuchungen weisen methodische Schwächen auf, und die Ergebnisse sind häufig widersprüchlich.

Im Folgenden werden zuerst einige Schwierigkeiten in der Gesundheitsforschung und Risikobewertung von hochfrequenten Feldern diskutiert. Danach wird ein Überblick über Expositionssituationen gegeben, denen die allgemeine Bevölkerung typischerweise ausgesetzt ist. Zum Schluss wird ein Überblick über den naturwissenschaftlich-medizinischen Kenntnisstand bezüglich der gesundheitlichen Wirkungen gegeben.

Schwierigkeiten in der Gesundheitsforschung und Risikobewertung

Unterschiedlicher Umgang mit Unkenntnis in Wissenschaft und Öffentlichkeit

Die Wissenschaft hat im Laufe der letzten Jahrhunderte eine eigene Tradition im Umgang mit Unkenntnis entwickelt. In der wissenschaftlichen Tradition wird in erster Linie versucht, einen Fehler der 1. Art zu vermeiden. Das heißt, es werden große Anstrengungen unternommen, damit nicht ein Effekt deklariert wird, wo in Wahrheit keiner besteht (siehe Abb. 2). Diese Tradition manifestiert sich im wissenschaftlichen Alltag dadurch, dass die statistische Signifikanz (bzw. der p-Wert) häufig als Hauptkriterium für die Aussagekraft einer Studie gewertet wird. Deutlich weniger Bedeutung hat ein möglicher Fehler der 2. Art. Das heißt, dass kein Effekt deklariert wird, obwohl in Wahrheit ein Zusammenhang existiert. Dies äußert sich darin, dass die so genannte Macht (Power) als Maß für einen solchen Fehler¹ in kaum einer Studie berechnet und kommuniziert wird. Dieser wissenschaftliche Umgang mit Unkenntnis kontrastiert mit dem individuellen oder gesellschaftlichen Umgang mit Risiken. Hier möch-

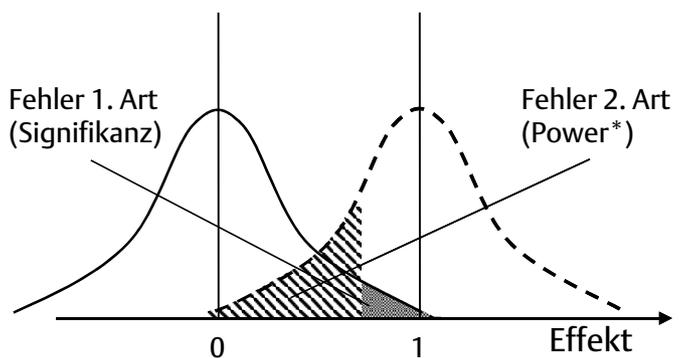


Abb. 2 Grafische Darstellung des Fehlers der 1. und der 2. Art. (*Power ist die Differenz zwischen 1 und dem Fehler der 2. Art.)

¹ Die Macht bzw. Power (P) berechnet sich aus 1 minus dem Fehler der 2. Art (β): $P = 1 - \beta$.

Tab. 1 Übersicht über typische Emittenten von hochfrequenten Wellen, denen die allgemeine Bevölkerung im Alltag ausgesetzt ist

	Mobilfunkbasisstation	TV-/Radiosender	Radaranlagen	Mobiltelefon	Schnurlostelefonbasisstation	Schnurlostelefonhörer
Feldart	Fernfeld	Nah-/Fernfeld	Fernfeld	Nahfeld	Fernfeld	Nahfeld
Körperteil	ganzer Körper	ganzer Körper	ganzer Körper	v. a. Kopf	ganzer Körper	v. a. Kopf
Strahlungscharakterisierung	217–1734 Hz Pulsierung	moduliert (AM und FM)	sehr stark gepulst (1–1000 Hz)	217-Hz-Pulsierung	100-Hz-Pulsierung	100-Hz-Pulsierung
typische Sendeleistung	300–1200 W ¹⁾	1 kW–1 MW	bis 1 MW	Puls: 1–2 W Ø: 0,125–0,25 W	Puls: 0,25 W Ø: 0,01 W	Puls: 0,25 W Ø: 0,01 W
typische Distanz bei Exposition	10–100 m	100 m–1 km	10 m–1 km	0–3 cm	0,5–5 m	0–3 cm
typische Feldstärke bei Exposition	≈1–5 V/m	≈1–10 V/m	≈1–5 V/m	Puls: ≈ 170 V/m Ø: ≈ 20 V/m	≈ 0,5 V/m	Puls: ≈20 V/m Ø: ≈1 V/m
Intensität	gleichmäßig tief	gleichmäßig tief	gleichmäßig tief	lokal hoch	gleichmäßig tief	lokal hoch
Dauer	permanent	permanent	permanent	episodisch	permanent	episodisch

1 äquivalente Strahlungsleistung (bezogen auf einen 1/2-Wellendipol-Strahler)

te man primär den Fehler der 2. Art vermeiden. Das heißt, man möchte nicht die Schlussfolgerung ziehen, dass keine Gefahr besteht, wenn in Wahrheit eine Gefahr besteht. Es wird also von einer potenziellen Gefahr ausgegangen und ein Beweis für die Abwesenheit des Risikos wird angestrebt.

Trifft die wissenschaftliche Widerspruchs-Beweisführung auf die von Vorsicht geprägte gesellschaftliche Tradition im Umgang mit Risiken, sind a priori Konflikte vorprogrammiert. Fehlende Evidenz für das Vorhandensein eines Risikos bedeutet eben nicht den Beweis für dessen Abwesenheit („Absence of evidence is not evidence of absence of risk.“[6]).

Unbekannter Wirkungsmechanismus

Es ist zurzeit unbekannt, welche Mechanismen im so genannten nicht thermischen Bereich zu einer Gesundheitsschädigung durch hochfrequente Wellen führen könnten. Im Zusammenhang mit dem elektromagnetischen Spektrum gibt es eine Vielzahl von Prozessen, die dem Dosis-Wirkungsgesetz von Paracelsus („Dosis sola facit venenum“: die Dosis allein macht das Gift) widersprechen. Beispielsweise treten photochemische Reaktionen nur ein, wenn ein Photon genau die erforderliche Energiemenge besitzt. Photonen mit mehr oder weniger Energie lösen keine Reaktion aus. Ein anderes Beispiel ist die Steuerung des Tag-Nacht-Rhythmus beim Menschen über den Melatoninzyklus. Die Stimulierung erfolgt durch elektromagnetische Strahlen in Form von Licht. Dabei scheint die Dosis eine untergeordnete Rolle zu spielen. Das Sehvermögen (Wahrnehmungsfähigkeit in einem eng definierten Bereich des elektromagnetischen Spektrums) sowie technische Resonanzphänomene sind weitere Beispiele, bei denen Wirkungen in einem eng definierten Frequenzspektrum auftreten und die nicht in erster Linie proportional zur Strahlungsintensität im ganzen hochfrequenten Spektrum sind. Damit ist unklar, ob von vornherein auf die Unbedenklichkeit unterhalb einer bestimmten Dosis (z. B. derjenigen, die zu einer relevanten Gewebeerwärmung von 1°C führt) geschlossen werden kann. Die bisherige Forschung hat inzwischen einige Indizien für Wirkungen gefunden, die nicht mit dem Erwärmungsansatz erklärt werden können (siehe weiter unten). Ohne Verständnis über

den Wirkungsmechanismus ist es im Übrigen nicht möglich einzugrenzen, welche gesundheitlichen Wirkungen zu erwarten sind, und es eröffnet sich ein breiter Raum für Spekulationen.

Exposition

Wie aus Abb. 1 ersichtlich, ist die Bevölkerung einer Reihe von unterschiedlichen elektromagnetischen Quellen ausgesetzt. Die Emissionen von diesen Quellen unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht, z. B. Frequenz, Polarisation, Modulation und Feldtyp. In Anbetracht des unbekannteren Wirkungsmechanismus sind solche Eigenschaften möglicherweise relevant und müssen neben der Strahlungsintensität in der Gesundheitsforschung berücksichtigt werden. Auf der Empfängerseite kann die Eigenschaft des Organismus für eine Wirkung entscheidend sein (Größe, Länge, Position, Erdung, dielektrische Eigenschaft, erworbene oder genetische Disposition). Damit gibt es eine Vielzahl von Parametern, die abgeklärt werden müssen. Eine Verallgemeinerung der Resultate auf andere Feldeigenschaften oder Organismen ist mit großen Unsicherheiten verbunden.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass die Exposition auf verschiedene Art und Weise erfolgen kann. Nur schon beim Vergleich der Exposition durch Mobiltelefone und Mobilfunkbasisstationen gibt es eine Reihe von Unterschieden, deren Relevanz unklar ist (siehe Tab. 1). Die Exposition durch Mobiltelefone erfolgt primär episodisch mit lokal (v. a. am Kopf) hohen Intensitäten. Durch Basisstationen ist der ganze Körper quasi permanent einer tieferen Strahlungsintensität exponiert. In diesem Zusammenhang ist auch relevant, dass der Mensch möglicherweise zu bestimmten Zeitpunkten sensibler reagiert (z. B. im Schlaf).

Als letzte und wahrscheinlich größte Schwierigkeit ist noch die Expositionsabschätzung in epidemiologischen Studien angesprochen. Elektromagnetische Wellen sind in der heutigen Umwelt quasi ubiquitär verbreitet. Einerseits gibt es kaum Gebiete ohne hochfrequente Strahlung, andererseits kann die Strahlungsintensität auf kleinstem Raum stark variieren. Das erschwert eine zuverlässige Bestimmung von Expositionsunterschieden in einem Untersuchungskollektiv enorm. Für epidemiologische Forschung

ist es aber essenziell, dass Menschen mit unterschiedlich starken Expositionen verglichen werden können. Ansonsten gibt es keine Möglichkeit, den Effekt einer Exposition zu analysieren.

Zeitliche Entwicklung vs. Latenzzeit

Bei der Erforschung von möglichen kanzerogenen Wirkungen ergibt sich eine weitere Problematik. Einerseits haben Tumoren eine Induktions-/Latenzzeit von mehreren Jahren und entsprechend lange dauert der Nachweis einer Schädigung. Auf der anderen Seite läuft die technische Entwicklung rasant ab. Bei der Bewertung von Studien, welche die Kanzerogenität untersuchten, sind Expositionsdauer und mögliche Latenzzeit der Auswirkung daher unbedingt zu berücksichtigen. Dies ist zurzeit besonders für die Beurteilung der Studien relevant, die Tumorrisiken von Mobiltelefonbenutzern untersuchten.

Gesundheitsrelevanz

In experimentellen Studien können kurzzeitige Expositionen kontrolliert angewendet werden. Aus ethischen Gründen können mit solchen Studien jedoch nur harmlose Effekte im Schwankungsbereich der normalen physiologischen Werte untersucht werden. Finden solche Studien einen Effekt, stellt sich damit gewissermaßen die Frage, worin (längerfristig) die Bedeutung für die Gesundheit besteht.

Methodische Probleme

In diesem Rahmen ist es nicht möglich, methodische Probleme auf der Ebene der einzelnen Studie umfassend zu diskutieren. Siehe dazu den ausführlichen Bericht vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schweiz [2]. Hauptprobleme sind generell nicht berücksichtigte Störgrößen (Confounder), systematische Fehler in der Informationsbeschaffung (z. B. Recall Bias) sowie in der Selektion der Fälle (in Fall-Kontroll-Studien) [7]. Ein weiteres Problem ist der so genannte Publikationsbias. Es ist anzunehmen, dass Studien, die einen Effekt finden, häufiger bzw. wahrscheinlicher publiziert wurden als solche, die keinen Effekt finden.

Exposition der Bevölkerung

Abgesehen von speziellen beruflichen oder medizinischen Expositionen, ist die allgemeine Bevölkerung hauptsächlich fünf typischen Quellen von Hochfrequenzstrahlung ausgesetzt: Strahlung von Basisstationen, von TV-/Radioantennen, von Radaranlagen, von Mobiltelefonen und von Funktelefonen (Schnurlostelefone; siehe Tab.1). Umfassende Expositionsabschätzungen der allgemeinen Bevölkerung zu diesen Quellen gibt es noch nicht.

Mobilfunkbasisstationen

Im Mobilfunk wird zurzeit hauptsächlich das GSM-System (Global System for Mobile Communication) angewendet. Es handelt sich dabei um eine gepulste Strahlung, bei der ein Achtel der Zeit gesendet wird. Bei der GSM-Mobilfunkbasisstation ist der Basis kanal permanent in Betrieb, auch wenn kein Telefonverkehr stattfindet. Wenn mehr als sieben Gespräche gleichzeitig über eine Basisstation geführt werden, schalten sich zusätzliche Verkehrskanäle zu. Die elektrische Feldstärke an einem bestimmten Ort ist von der Sendeleistung der Antenne, von der Distanz und räumlichen Lage zum Sender, den Eigenschaften der Gebäude-

hülle, den Reflexionen etc. abhängig. Generell kann im Hauptstrahl bis zu rund 100 m Distanz eine elektrische Feldstärke von mehr als 1 V/m auftreten. Messungen haben jedoch gezeigt, dass in der Praxis die Distanz zum Sender alleine praktisch nichts über die Feldstärke an einem Ort aussagt [8]. Andere Faktoren wie die direkte Sichtverbindung, Sendeleistung der Antenne oder die Bausubstanz von Gebäuden beeinflussen die Strahlungsimmissionen in Wohnräumen entscheidend.

TV- und Radiostrahlung

Die Frequenz der Strahlung von TV- und Radiosendeanlagen ist tiefer als diejenige der Mobilfunkstrahlung. Die Strahlung ist amplituden- (AM) oder frequenzmoduliert (FM). Generell ist die Sendeleistung einer solchen Antenne deutlich höher als bei einer Mobilfunkbasisstation. Da die Strahlung jedoch auf großer Höhe über Boden emittiert wird, ist die maximale Feldstärke in der Umgebung der Sender auf Bodenhöhe üblicherweise nicht höher als einige Volt pro Meter [9]. Grobe Abschätzung ergab, dass in einer Distanz von rund 7 km zu einem Fernsehsender mit einer Leistung von einem Megawatt bei freier Raumausbreitung die Feldstärke etwa 0,8 V/m beträgt und damit etwa gleich hoch ist wie im Hauptstrahl einer Mobilfunkbasisstation in 200 m Distanz [10].

Radarstrahlung

Radarstrahlung wird von Verkehrs-, Flughafen- und Wetterradar emittiert. Charakteristisch für die Radartechnik ist die starke Pulsierung der Strahlung. Es wird nur ein kurzer Sendepuls ausgestrahlt und dessen Echo interpretiert. Das bedeutet, dass die durchschnittliche Sendeleistung typischerweise rund 1000-mal kleiner ist als die momentane Sendeleistung während eines Pulses. Obwohl in der Nähe von Radaranlagen beträchtliche Feldstärken auftreten können, dürfte die allgemeine Bevölkerung durch Radaranlagen nur im Ausnahmefall einer Feldstärke von über 1 V/m ausgesetzt sein [9].

Zusammenfassung über die Exposition durch Außenraumquellen

Die typischen Eigenschaften der Exposition gegenüber den erwähnten drei Außenraumsendern sind in Tab.1 zusammengestellt. Frequenzselektive Messungen in neun zufällig ausgewählten Haushalten in der Stadt Mainz ergaben für den Frequenzbereich von 100 kHz bis 2,9 GHz Feldstärken von 0,11 bis 0,48 V/m [11]. Die Strahlung von Mobilfunkbasisstationen war an drei Standorten der Hauptbeitrag, an vier Standorten stammte der größte Anteil der Hochfrequenzstrahlung von Radiosendern und an zwei Standorten von Flugzeugradars. Analoge Ergebnisse ergaben frequenzselektive Messungen an 15 Standorten in der Region Basel [12] und in Turin [13].

Strahlung von Mobiltelefonen

Im Gegensatz zu den Außenraumsendern erfolgt die Exposition durch Mobiltelefone nur episodisch (hauptsächlich während des Gesprächs) und sie ist lokal begrenzt, üblicherweise hauptsächlich auf den Kopf. GSM-Telefone haben eine maximale Sendeleistung von 2 W (900 MHz) bzw. 1 W (1800 MHz). Wegen der Pulsierung ist die durchschnittliche Sendeleistung 8-mal tiefer, wobei in der Praxis die durchschnittliche Sendeleistung aufgrund der Leistungskontrolle (PWC) zusätzlich auf rund ein Viertel reduziert wird und wegen der diskontinuierlichen Transmis-

sion (DTX) nochmals um rund 30% reduziert ist [14]. Damit kann in der Praxis von einer durchschnittlichen Sendeleistung von 0,04 W ausgegangen werden. Beim Telefonieren mit einem Telefon der Leistung von 0,6 W beträgt die maximale Feldstärke an der Schädeloberfläche rund 50 V/m [15]. Gemäß numerischer Modellierungen wird beim Telefonieren das Gehirn je nach Frequenz und Sendeleistung um etwa 0,13–0,19°C erwärmt [16]. Diese Erwärmung ist zu je rund 50% durch die Hochfrequenzstrahlung und durch die Abwärme des Akkus verursacht.

In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass die Strahlungsbelastung bei der Telefonbenutzung individuell sehr unterschiedlich ist [17]. Die Benutzungsdauer, das Telefonmodell, die Seite des Gebrauchs, die Position zum Gesicht, das Ausziehen der Antenne, die Kopfform und -größe sowie die Leistungskontrolle und die diskontinuierliche Transmission können insgesamt Unterschiede in der Strahlungsbelastung von mehreren Größenordnungen verursachen.

Schnurlostelefone

Eine weitere typische Emissionsquelle für die allgemeine Bevölkerung stellen die Funktelefone dar. Zurzeit sind hauptsächlich die digitalen DECT-Telefone in Gebrauch. Die maximale Sendeleistung dieser Telefone liegt bei 0,25 W. Die durchschnittliche Sendeleistung ist rund 30-mal kleiner. Die Pulsfrequenz liegt bei 100 Hz. Die Basisstationen von schnurlosen DECT-Telefonen senden permanent Strahlung aus, unabhängig davon, ob telefoniert wird oder nicht. Exemplarische Messungen in einem Büro und in einer Wohnung ergaben, dass dadurch im Wohnraum permanente Felder bis zu einer Feldstärke von 0,7 V/m verursacht werden [18].

Gesundheitliche Wirkungen von hochfrequenten Wellen im Niedrigdosisbereich

Im Folgenden wird eine Übersicht über den Stand des Wissens über die gesundheitlichen Wirkungen von hochfrequenten Wellen im Niedrigdosisbereich gegeben. In der kontrovers geführten Diskussion über die Schädlichkeit der Mobilfunkstrahlung werden sehr unterschiedliche Gefährdungen als möglich erachtet. Es ist zu beachten, dass es zu einigen dieser potenziellen Wirkungen nur Studien mit mangelhafter Aussagekraft gibt. Die Diskussion der Gesundheitswirkungen erfolgt in der Reihenfolge der bestehenden wissenschaftlichen Evidenz (siehe Tab. 2).

Etablierte Wirkungen der Hochfrequenzstrahlung

Es ist unbestritten und konsistent nachgewiesen, dass die Absorption von hochfrequenten Wellen im Körpergewebe zu einer Erwärmung führt. Diese Erwärmung ist bei relativ hohen Intensitäten gesundheitsschädigend. Die Bevölkerung ist mit den zurzeit gültigen Grenzwerten vor solchen Auswirkungen auf jeden Fall geschützt.

Im alltäglichen Leben können durch Mobiltelefone (aber auch andere EMF-Quellen) Interferenzerscheinungen mit Implantaten (z. B. Herzschrittmacher, Hörimplantate) auftreten [19]. Diese erwiesenen Effekte werden in der Entwicklung zukünftiger Geräte berücksichtigt und können durch geeigneten Umgang vermie-

Tab. 2 Zusammenfassung der Evidenz für gesundheitliche Wirkungen von Hochfrequenzstrahlung im Niedrigdosisbereich

Evidenz	Gesundheit	Exposition
konsistente Befunde		
gesichert	Verkehrsunfälle Interferenz bei Implantaten Mikrowellen-Hören	Gebrauch Mobiltelefon u. a. Mobiltelefon gepulste Strahlung (Energie pro Puls > 20 mJ/m ²)
mehrfache Hinweise auf Effekte		
wahrscheinlich	Hirnströme beschleunigte Reaktionszeiten unspezifische Gesundheitssymptome (Kopfweh, Müdigkeit, Konzentrationsschwierigkeiten, Unbehagen, brennende Haut etc.) Schlafphasen	Mobiltelefon Mobiltelefon Gebrauch Mobiltelefon Mobiltelefon
einzelne Hinweise auf Effekte		
möglich	Schlafqualität Elektrosensibilität Leukämien/Lymphome Hirntumoren	Radiosender Mobiltelefon TV-/Radiosender Gebrauch Mobiltelefon
nur Studien mit wenig Aussagekraft vorhanden		
nicht beurteilbar	Hormonsystem Immunsystem Herz-Kreislauf-System psychisches Befinden Abort Genotoxizität Brustkrebs Augentumoren Hodentumoren	diverse diverse Radiosender diverse Diathermiegeräte berufliche Exposition diverse Gebrauch Mobiltelefon Radarpistolen
mehrfache Hinweise auf Abwesenheit		
unwahrscheinlich	Mortalität weitere Tumoren	Gebrauch Mobiltelefon diverse

den werden (z. B. sollen Träger eines Herzschrittmachers das Mobiltelefon nicht in der Brusttasche tragen).

Konsistent nachgewiesen wurde auch die Wahrnehmung von Geräuschen (Mikrowellen-Hören), wenn bei gepulster Strahlung eine gewisse Energiemenge pro Puls überschritten wird [20–23]. Die Absorption der Energie führt im weichen Hirngewebe zu thermoelastischen Wellen, die als Geräusch (Klicken, Surren etc.) wahrgenommen werden. Bei Einhaltung der ICNIRP-Empfehlungen kann dieses Phänomen im Zusammenhang mit Radarstrahlung auftreten, wenn nur ein Bruchteil der Zeit gesendet wird (<1/1000). Bei der GSM-Mobilfunkstrahlung mit einem Senderverhältnis von 1/8 ist bei Einhaltung der ICNIRP-Richtwerte die Energiemenge pro Puls zu gering, um solche Effekte zu verursachen.

Die erwiesene Tatsache, dass das Unfallrisiko erhöht ist, wenn beim Autofahren telefoniert wird, hat natürlich nichts mit den Strahlungsemissionen zu tun. Die Unfallgefahr ist beim Gebrauch einer Freisprechanlage nicht geringer als bei handgehaltenen Geräten, was mit der Ablenkung durch das Telefonat erklärt wird [24–27].

Mehrfach nachgewiesene Effekte Hirnströme, Schlafphasen und Reizverarbeitung

Wirkungen der hochfrequenten Strahlung auf die Hirnströme wurden bisher am häufigsten untersucht. Grob können in diesem Bereich drei Typen von Studien unterschieden werden: 1. solche, die das spontane Elektroenzephalogramm (EEG) im Wachzustand untersuchten, 2. solche, die das spontane EEG im Schlaf untersuchten und daraus die Schlafphasen ableiteten, und 3. solche die ereignisbezogene Hirnpotenziale (ERP) untersuchten. Bei den ERP wird die Gehirnaktivität als Antwort auf einen externen Reiz (z. B. ein Audio- oder ein visuelles Signal) bzw. die Reizverarbeitung (z. B. bei einem kognitiven oder Reaktionstest) untersucht. Die Analyse der EEG-Spektren ergaben generell erhöhte Leistungsdichten, wenn die Probanden exponiert waren. Üblicherweise war vor allem das α -Band betroffen [28]. Am besten reproduzierbar waren die Effekte einer Exposition bei den ereignisbezogenen Potenzialen (ERP). Diese Studien fanden mit einer Ausnahme [29, 30] alle einen signifikanten Effekt der Exposition [31–35]. Wenn die Probanden während des Experiments Reaktions- oder kognitive Tests ausführten, waren die Reaktionszeiten durchweg verkürzt, doch die Testperformance (Richtigkeit, Genauigkeit etc.) blieb unbeeinflusst [33, 36–39]. EEG-Messungen im Schlaf fanden ebenfalls mehrfach eine erhöhte Leistungsdichte, hauptsächlich im α -Band (8–15 Hz) [40–44]. Da die Klassifizierung der Schlafphasen auf den EEG beruhen, waren diese entsprechend in der Expositionsnacht ebenfalls verändert. Zwei Studien fanden keinen Effekt [45, 46]. Weniger konsistent waren die Resultate der Studien, die spontane Potenziale im Wachzustand untersuchten. Einige Studien fanden signifikante Effekte [47–50], andere nicht [33, 51, 52]. Die schlechtere Übereinstimmung bei den Studien zu den spontanen EEG im Wachzustand ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass spontane EEG im Wachzustand eine größere Variabilität aufweisen als EEG in der Nacht oder evozierte Potenziale. Vereinzelt wurden Hinweise gefunden, dass die Beeinflussung der Hirnströme verzögert eintritt [47, 48] und/oder länger als die unmittelbare Expositionsdauer anhält [42, 44, 47, 49]. Andererseits gab es auch Indizien, dass eine Adaption an die Expositionssituation stattfinden könnte, da sich das EEG nach längerer Expositionszeit wieder normalisierte [41]. In zwei Studien, die eine komplexe Art der Reizverarbeitung untersuchten, wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass die Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern Wahrnehmungsprozesse verlangsamt [53, 54].

Diese relativ konsistent beobachteten biophysikalischen Befunde lagen im Schwankungsbereich für normale Werte. Die langfristigen Auswirkungen auf die Gesundheit können zurzeit nicht beurteilt werden. Die Bedeutung dieser Befunde liegt in erster Linie darin, dass bei den applizierten Expositionen überhaupt Effekte gefunden wurden. Die damit verbundenen Temperaturerhöhungen im Gehirn dürften 0,2°C nicht überschritten haben [16]. Nach gängiger Meinung [1] sollte eine solche geringe Temperaturerhöhung physiologisch kompensiert werden können. Es ist deshalb unklar, wodurch die beobachteten Effekte verursacht wurden. Es gibt Hinweise, dass die Signalcharakteristik (Pulsierung) der Strahlung eine entscheidende Rolle spielt [44].

Allgemeines Wohlbefinden

Neben Einzelfällen, die über ein verschlechtertes Befinden beim Benutzen von Mobiltelefonen berichteten [55, 56], gibt es eine Reihe von Querschnittsbefragungen, die Symptome im Zusam-

menhang mit der Mobiltelefonbenutzung systematisch erfragten [57–62]. Folgende Symptome waren mit dem Mobiltelefongebrauch assoziiert: Wärmegefühl am Ohr, brennende Haut, Kopfweh, Schwindel, Unbehagen, Müdigkeit, Schmerzen und Druckgefühle. Obwohl Hinweise für Dosis-Wirkungsbeziehungen gefunden wurden, z. B. eine Zunahme der Symptome mit zunehmendem Telefongebrauch oder mehr Symptome bei Benutzern der stärker strahlenden Analogtelefone im Vergleich zu GSM-Telefonbenutzern, kann aus diesen Studien nicht beurteilt werden, ob diese Effekte durch die Strahlungsexposition verursacht oder ob andere Faktoren, z. B. Stress, von Bedeutung sind. Beschwerden könnten zum Beispiel auch durch eine schlechte Verbindungsqualität beim Telefonieren in lärmbelasteter Umgebung ausgelöst werden. Möglich wäre zudem, dass die Häufigkeit des Mobiltelefongebrauchs nur ein Indikator für das individuelle Stressniveau ist. Stark unterschiedliche Häufigkeiten von Befindlichkeitssymptomen in verschiedenen Ländern [60] oder fehlende Reproduzierbarkeit solcher Befunde in experimentellen Studien mit blinder Exposition [63] deuten auf den Einfluss von solchen anderen Faktoren hin.

In diesem Zusammenhang sei noch die bisher einzige publizierte epidemiologische Studie zur Wirkung der Strahlung von Mobilfunkstationen erwähnt [64, 65]. Es wurde beobachtet, dass für eine Reihe von unspezifischen Gesundheitssymptomen ein Zusammenhang bestand zwischen der Auftretenshäufigkeit und der Distanz zwischen Wohnort und Mobilfunkbasisstation. Es ist jedoch zu betonen, dass die Studie grundlegende Anforderungen an eine wissenschaftliche Publikation nicht erfüllt. Die angewandte Methodik ist mangelhaft beschrieben. Es ist beispielsweise nicht klar, welche Personen einen Fragebogen ausgefüllt haben, wie sie ausgewählt wurden, nach welchen Symptomen gefragt wurde, wie zuverlässig die Schätzung der Distanz zur Basisstation ist etc. Zudem wurde schon mehrfach gezeigt, dass bei zufällig ausgewählten Punkten keine Korrelation zwischen der Feldstärke und der Distanz zur Basisstation besteht. Damit ist die Distanz zur nächsten Basisstation ein ungeeignetes Expositionsmaß. In dieser Form publiziert, kann nur spekuliert werden, wie die Ergebnisse dieser Studie zustande kamen. Mögliche Erklärungen sind eine selektive Auswahl der Personen, die einen Fragebogen ausfüllten, systematische Fehler bei der Schätzung der Distanz zwischen Wohnort und Basisstation oder bei den Angaben zu den Symptomen.

Effekte mit vereinzelt Hinweisen

Hirntumoren

Studien zum Hirntumorrisiko bei Mobiltelefonbenutzern fanden bisher insgesamt kein erhöhtes Risiko [27, 66–74] (siehe Tab. 3). Hervorzuheben ist jedoch die durchweg geringe Mobiltelefonbenutzung in den untersuchten Kollektiven. Nur ein geringer Teil der untersuchten Kollektive benutzte überhaupt ein Mobiltelefon. Sehr klein ist dann insbesondere die Zahl derjenigen Personen, die Mobiltelefone schon länger als 5 Jahre in Gebrauch hatten. In Anbetracht der langen Induktions- bzw. Latenzzeit für Hirntumoren und aufgrund anderer Schwächen in den einzelnen Untersuchungen können aus diesen Studien noch keine endgültigen Schlüsse in Bezug auf das Hirntumorrisiko gezogen werden [75–82]. Einige Studien fanden Hinweise auf eine mögliche Assoziation. So fanden drei Studien eine (teilweise signifikante) Zunahme des Tumorrisikos mit der Dauer der Mobiltelefonbenut-

Tab. 3 Übersicht über die bisherigen Studien zum Hirntumorrisiko von Mobiltelefonbenutzer. Zusätzliche Befunde sind in den Fußnoten erläutert.

Quelle	Studientyp (Anz. Fälle/Kontrollen)	Stärke der Assoziation (95%-CI)	Benutzungsdauer ¹⁾	Anteil Benutzer am untersuchten Kollektiv
Hardell et al., 1999 Hardell et al., 2000	Fall-Kontroll (233/466)	0,98 (0,69–1,41) ²⁾	Median = 136 Stunden	38%
Dreyer et al., 1999	Register (6/–)	Hirntumorrisiko nicht erhöht	Median = 2 min./Tag 20% länger als 3 Jahre	(alle)
Muscat et al., 2000	Fall-Kontroll (469/422)	0,85 (0,6–1,2) ³⁾	2,2–2,5 h/Monat während 2,5 Jahren	16%
Inskip et al., 2001	Fall-Kontroll (782/799)	1,0 (0,6–1,5)	Median: ca. 100 Stunden	20%
Johansen et al., 2001	Register (154/–)	Männer: 0,95 (0,79–1,12) Frauen: 1,03 (0,62–1,61) ⁴⁾	7% mind. 3 Jahre	(alle)
Auvinen et al., 2002	Fall-Kontroll (398/1990)	Analog: 1,6 (1,1–2,3) ⁵⁾ GSM: 0,9 (0,5–1,5) ⁶⁾	Analog: durchschnittl. Benutzung 2–3 Jahre GSM: durchschnittl. Benutzung < 1 Jahr	13%
Hardell et al., 2002	Fall-Kontroll (1617/1617)	Analog: 1,3 (1,02–1,6) ⁷⁾ GSM: 1,0 (0,8–1,2)	Analog: Median = 7 Jahre GSM: Median = 3 Jahre	Analog: 15% Digital: 30%
Muscat et al., 2002 ⁸⁾	Fall-Kontroll (90/86)	1–2 Jahre Gebrauch: 0,5 (0,2–1,3) 3–6 Jahre Gebrauch: 1,7 (0,5–5,1) ⁹⁾	Durchschnitt Fälle: 226 Stunden Durchschnitt Kontrollen: 174 Stunden	Fälle: 20% Kontrollen 27%

¹⁾ bezeichnet die durchschnittliche Benutzung der Mobiltelefonbenutzer im untersuchten Kollektiv.

²⁾ Tumorhäufigkeit war ipsilateral signifikant erhöht: OR = 2,62 (1,02–6,71).

³⁾ Tumorhäufigkeit ipsilateral beinahe signifikant erhöht ($p = 0,06$)

⁴⁾ nicht signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehung ($p=0,19$)

⁵⁾ signifikante Risikozunahme mit der Nutzungsdauer (OR = 1,2 [95%-CI: 1,0–1,3] pro Jahr)

⁶⁾ keine Risikozunahme mit der Nutzungsdauer (OR = 1,0 [95%-CI: 0,7–1,5] pro Jahr)

⁷⁾ Bei Benutzung von länger als 10 Jahre war das Risiko um 80% erhöht.

⁸⁾ In dieser Studie wurden nur Akustikusneurinome untersucht.

⁹⁾ Tumorhäufigkeit war kontralateral erhöht.

zung [70, 71, 73]. In den beiden größten Studien wurde ein statistisch signifikant erhöhtes Hirntumorrisiko für Benutzer von Analog-Mobiltelefonen beobachtet, jedoch kein erhöhtes Tumorrisiko für GSM-Benutzer [71, 73]. Analoge Telefone weisen eine größere Strahlungsleistung auf und sind schon länger auf dem Markt als GSM-Telefone, was im Hinblick auf die Latenzzeit von Hirntumoren von Bedeutung ist. Problematischer zu interpretieren sind Analysen, die die Kopfseite des Mobiltelefongebrauchs mit dem Ort des Tumorauftritts verglichen haben. So ist es möglich, dass positive Zusammenhänge auf Recall-Bias zurückzuführen sind [66, 67], negative Assoziationen können die Folge einer Hörverminderung durch Akustikusneurinome sein [72].

Insgesamt lassen die bisherigen Studien an Mobiltelefonbenutzern ein langfristig erhöhtes Hirntumorrisiko als möglich erscheinen, zumindest kann es zurzeit nicht ausgeschlossen werden. In der Umgebung von Sendeanlagen wie TV- und Radiosendern wurde bisher in keiner Studie ein erhöhtes Hirntumorrisiko nachgewiesen [83–86]. Ein diesbezüglicher Zusammenhang scheint sehr unwahrscheinlich.

Weniger eindeutig sind die Ergebnisse von vier arbeitsmedizinischen Studien. Das Hirntumorrisiko von Militärpersonen, die gegenüber Radarstrahlung exponiert waren, war in zwei Studien signifikant um 39% [87] bzw. 91% [88] erhöht. Kalifornische Hobbyfunker hatten ein (nicht signifikantes) um 40% erhöhtes Hirntumorrisiko [89, 90], und bei einer Studie an Motorola-Arbeitern war das Hirntumorrisiko um 10% niedriger als in der Allgemeinbevölkerung [91].

Leukämien und Lymphome

Die Mehrheit der Studien, welche das Risiko für Leukämien und Lymphome in der Umgebung von TV- und Radiosendern untersuchten, fanden statistisch signifikante Zusammenhänge [83–86, 92–94] (siehe Tab. 4). Am aussagekräftigsten dürfte die Studie um 20 englische Sendetürme zu gewichten sein [86]. In dieser Studie wurde ein sehr großes Kollektiv untersucht und die wissenschaftliche Qualität der Studie ist hoch. Die Resultate waren sehr konsistent: Um stärker sendende Anlagen wurden höhere Risiken gefunden, hingegen war das Risiko um schwächer sendende Anlagen nicht erhöht. Die höchsten Inzidenzen wurden in 2–3 km Distanz um stark sendende Anlagen gefunden, einem Bereich, wo die höchsten Belastungen durch die Strahlung zu erwarten sind. Dort war das Leukämierisiko rund 20–30% höher als erwartet. Im ganzen Gebiet innerhalb von 10 km war um stark sendende Anlagen das Risiko um etwa 5% höher als erwartet. Dies dürfte in etwa die Größenordnung einer allfälligen Assoziation aufzeigen. Die Tatsache, dass um schwächer sendende Anlagen kein erhöhtes Risiko gefunden wurde, ist möglicherweise ein Hinweis, dass erst ab einer gewissen Feldstärke Effekte auftreten.

Die Studien zum Leukämie- und Lymphomrisiko um Sendeanlagen weisen jedoch eine Reihe von Schwächen auf, die eine abschließende Bewertung unmöglich machen. Erstens wurden in diesen Studien bei der Datenanalyse nur die groben Einflussfaktoren Alter und Geschlecht berücksichtigt. Der Einfluss anderer möglicher Störgrößen auf das Resultat kann deshalb nicht beurteilt werden. Zweitens kann bei einigen dieser so genannten Clusterstudien nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden,

Tab. 4 Übersicht über Studien zum Risiko für Tumoren des Blut bildenden und lymphatischen Systems in der Umgebung von TV- und Radiosendern. Tabelliert sind die gefundenen Risiken und das 95%-Vertrauensintervall als Verhältnis der standardisierten Inzidenzraten (außer bei Michelozzi: dort handelt es sich bei den Erwachsenen um das Verhältnis der standardisierten Mortalitätsraten)

Studie	Exposition	Intensität [V/m]	Studientyp	Anz. Fälle	Lymphome und Leukämien	alle Leukämien	akute myeloische Leukämie	akute lymphatische Leukämie	chron. lymphatische Leukämien	chron. myeloische Leukämie	Hodgkin-Lymphom	Non-Hodgkin-Lymphom
Sevin et al. 1992	TV-/Radiosender	< 3,5 km	Cluster	98	0,89 (n. s.) ^{a)}	0,73 (n. s.) ^{a)}					1,23 (n. s.) ^{a)}	1,03 (n. s.) ^{a)}
Maskarinec et al. 1994 ¹⁾	Radiosender (23,4 kHz)	< 4,2 km	Cluster	12			2,09 ^{a), 5)} (1,08–3,65)					
Hocking et al. 1996 ²⁾	3 TV-/Radiosender (63–533 MHz)	0,9–5,5 V/m < 4 km	Cluster	1 206 134 ^{a)}		1,24 (1,09–1,40) 1,58 ^{a)} (1,07–2,34)		1,32 ⁶⁾ (1,09–1,59) 1,55 ^{a), 6)} (1,00–2,41)		1,09 (0,91–1,32) 1,73 ^{a)} (0,62–4,81)		
Dolk et al. 1997b	TV-/Radiosender	< 5 V/m < 10 km	Cluster	935	1,04 (0,98–1,11)	1,01 (0,90–1,13)	0,85 (0,68–1,05)	1,02 (0,67–1,56)	1,32 (1,08–1,62)	1,05 (0,78–1,42)		1,23 (1,11–1,36)
Dolk et al. 1997a	TV-/Radiosender	< 5 V/m < 10 km	Cluster	3 305		1,03 (1,00–1,07)	1,06 (1,00–1,13)	1,00 (0,88–1,15)	1,02 (0,95–1,08)	1,00 (0,91–1,10)		
Cooper et al. 2001 ³⁾	TV-/Radiosender	< 5 V/m < 10 km	Cluster	717 26 ^{a)}	1,08 (0,99–1,16) 1,08 ^{a)} (0,71–1,59)	1,16 (1,04–1,29)	1,21 (0,98–1,44)	1,29 (0,81–1,96)	1,19 (0,97–1,40)	1,28 (0,95–1,62)		1,06 (0,95–1,17)
Michelozzi et al. 2002 ⁴⁾	TV-/Radiosender	< 95 V/m < 10 km	Cluster	40 8 ^{a)}		1,0 (0,5–9,0) ^{c)} 1,2 (0,8–1,9) ^{b)} 1,2 (0,6–2,3) ^{a)}						

^{a)} Bezieht sich auf Tumoren bei Kindern.

^{b)} Bezieht sich auf Tumoren bei Frauen.

^{c)} Bezieht sich auf Tumoren bei Männern.

¹⁾ Fall-Kontrollstudie zu diesen Fällen: 2,0 (0,6–8,3)

²⁾ andere Leukämien: RR für Erwachsene: 1,67 (1,12–2,49); RR für Kinder: RR = 1,65 (0,33–8,19)

³⁾ signifikante Zunahme des Risikos mit abnehmender Distanz zum Sender bei Knaben, nicht aber bei Mädchen.

⁴⁾ signifikante Zunahme des Risikos mit abnehmender Distanz zum Sender bei Männern und Kindern, nicht aber bei Frauen.

⁵⁾ SIR für akute myeloische und akute lymphatische Leukämie gemeinsam.

⁶⁾ RR für akute lymphatische und chronisch lymphatische Leukämie gemeinsam.

dass sie in Gebieten durchgeführt wurden, wo eine a-priori-Häufung von Tumoren beobachtet wurde, während andere Gebiete ohne solche Cluster nicht untersucht wurden. Die a-priori-Häufung könnte jedoch zufällig oder aufgrund anderer Faktoren zustande gekommen sein. Drittens wurden in einigen Studien nur wenig Fälle berücksichtigt. Viertens war die Expositionsabschätzung in allen Studien sehr rudimentär. Messungen wurden nur sporadisch gemacht. Es wurde immer vorausgesetzt, dass die Strahlung mit der Distanz abnimmt. Aufgrund der Nahfeldbedingungen und der horizontalen Emission auf großer Höhe trifft dies aber erst mit einigen Kilometern Distanz zum Sender zu. In der näheren Umgebung des Senders sind die Messwerte sehr variabel und nur wenig mit der Distanz korreliert [85, 95, 96]. Dieser Umstand führt zu einer erheblichen Missklassifikation der Exposition. Eine (nicht differenzielle) Expositionsmissklassifikation führt generell zu einer Unterschätzung der wahren Dosis-Wirkungsbeziehung und ist in erster Linie ein Problem bei Studien, die keinen Zusammenhang finden.

Eine Reihe weiterer Studien untersuchte das Lymphom- und Leukämierisiko im Zusammenhang mit Expositionen im Beruf oder bei der Hobbytätigkeit mittels Fall-Kontroll- [97] oder Registerstudien [88–91, 98, 99]. Die Befunde sind uneinheitlich. Es wurden zwar teilweise Zusammenhänge zwischen Exposition und Krankheitshäufigkeit gefunden. Der Einfluss von anderen möglichen Einflussfaktoren kann jedoch auch bei diesen Studien nicht ausgeschlossen werden. Die zwei Registerstudien an Mobiltelefonierenden fanden beide kein erhöhtes Risiko für Tumoren des Blut bildenden und lymphatischen Gewebes mit zunehmendem Gebrauch des Mobiltelefons [27, 70].

Schlafqualität

Insbesondere permanent sendende Anlagen wie TV-, Radio- oder Mobilfunkantennen stehen im Verdacht, Schlafstörungen zu verursachen. Wie oben erwähnt, fanden experimentelle Studien im Schlaflabor mehrfach veränderte Schlafphasen, wenn Probanden während der Nacht oder vor dem Einschlafen gegenüber der Strahlung eines Mobiltelefons exponiert waren im Vergleich zu einer Kontrollnacht mit Scheinexposition. Die REM-Phasen waren zum Teil verlängert [42], zum Teil verkürzt [40, 46]. Mehrfach wurde unter Exposition eine (nicht signifikant) verkürzte Einschlafzeit beobachtet. Eine Studie fand unter Feldeinfluss signifikant verminderte Wachzeiten nach dem Einschlafen [41]. Die subjektive Bewertung der Schlafqualität war in allen experimentellen Laborstudien nicht verschlechtert, wenn die Probanden exponiert waren [40–43, 46, 100].

Generell legen die experimentellen Schlafstudien nahe, dass Schlafparameter bei Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern beeinflusst werden, diese Beeinflussung jedoch nicht unbedingt nur in negativer Art und Weise zu erfolgen hat. Dies steht in klarem Gegensatz zu Einzelfallberichten aus der Bevölkerung [101] und einer Studie, die Auswirkungen eines Kurzwellenradiosenders auf den Schlaf untersuchte [102]. Um den Radiosender wurden Feldstärken gemessen, wie sie auch in der Umgebung von Mobilfunkbasisstationen auftreten können (0,9–15,5 mA/m). Ein- und Durchschlafstörungen wurden mit drei verschiedenen Ansätzen untersucht: einer Querschnittsbefragung und zwei Längsschnittuntersuchungen mit Sendeunterbrechung bzw. veränderter Sendecharakteristik. Alle drei Ansätze

fanden einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Höhe der Exposition und der Häufigkeit von Ein- und Durchschlafstörungen. Das lässt vermuten, dass junge, gesunde Studenten, die sich freiwillig für Experimente zur Verfügung stellen, anders auf hochfrequente Strahlung reagieren als Teile der allgemeinen Bevölkerung.

Elektromagnetische Hypersensibilität

Wenig untersucht ist die Frage, ob es Personen gibt, die hypersensibel auf Mobilfunkstrahlung reagieren. Bei einer Provokationsstudie an elf sich selbst als elektrosensibel deklarierenden Probanden, ergab sich im Gruppenmittel keine statistisch signifikant erhöhte Sensibilität [103]. Jedoch gab es zwei Probanden, die deutlich sensibler auf die applizierten hochfrequenten Wellen (ca. 10 V/m) reagierten und diese auch überzufällig gut wahrnehmen konnten. Ähnliche Ergebnisse wurde auch im niederfrequenten Frequenzbereich gefunden [104, 105].

Diskutierte Effekte mit ungenügender Datenlage

Das fehlende Verständnis, wie hochfrequente Wellen im Niedrigdosisbereich auf den menschlichen Körper wirken, hat zur Folge, dass alle möglichen Gesundheitssymptome im Verdacht stehen, durch Mobilfunkstrahlung (mit-)verursacht zu werden. Dazu gehören insbesondere Wirkungen auf das Hormon-, Immun- und Herz-Kreislauf-System sowie auf das Befinden (v. a. Depressionen), Fertilität (v. a. Fehlgeburten), Brustkrebs und Augentumoren. Obwohl diese Wirkungen teilweise schon mehrfach untersucht wurden, ist die Datenlage zurzeit noch als ungenügend zu werten. Eine Risikobeurteilung ist auf dieser Basis nicht möglich. Der folgende Abschnitt soll einen Überblick über die bisherige Forschung zu diesen Befunden geben. Eine detaillierte Diskussion der Resultate und der methodischen Schwächen der jeweiligen Studien ist im Bericht des BUWAL zu finden [2].

Hormonsystem

Wirkungen auf das Hormonsystem werden vor allem auf dem Hintergrund diskutiert, dass bereits einige wenige Milligramm eines Hormons entscheidende Vorgänge im Körper steuern. Kleine Konzentrationsänderungen durch eine kleine Strahlungsleistung könnten entsprechend große Wirkungen nach sich ziehen. Die a-priori-Hypothese besagt, dass die Melatoninsekretion bei Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern erniedrigt wird [106]. Das könnte sowohl eine tumorpromovierende Wirkung erklären als auch den Tag-Nacht-Rhythmus beeinflussen. In keiner von drei experimentellen Studien wurde eine veränderte Melatoninsekretion beobachtet, wenn Probanden gegenüber einem Mobiltelefon exponiert waren [100, 107, 108]. Jedoch wurde eine signifikant verringerte nächtliche Melatoninsekretion bei Personen beobachtet, deren täglicher Mobiltelefongebrauch länger als 25 Minuten war [109]. Eine Studie fand eine signifikant erhöhte Kortisolsekretion [100], die jedoch wahrscheinlich auf die Stress auslösende Wirkung der Untersuchung zurückzuführen ist und in einer anderen Studie nicht repliziert werden konnte [110]. In einer weiteren Studie wurden eine signifikant erniedrigte TSH- (Schilddrüse-stimulierendes Hormon) und eine erhöhte FSH-Sekretion (Follikel-stimulierendes Hormon) beobachtet [107]. Kein konsistentes Ergebnis ergaben die bisherigen Studien, die Wirkungen von Langzeitexpositionen im Niedrigdosisbereich untersuchten; und zwar weder für Melatonin noch für andere Hormone [102, 111–113]. Bei diesen Studien ist insbeson-

dere die Vergleichbarkeit des exponierten Kollektivs mit dem nicht exponierten Kontrollkollektiv nicht beurteilbar.

Immunsystem

Die drei einzigen Studien, die den Einfluss der Exposition durch ein Mobiltelefon [108], einen Radiosender [114, 115] und ein Diathermiegerät [116] auf das Immunsystem untersuchten, fanden keine konsistenten Befunde. Die Hauptschwierigkeit bei der Bewertung dieser Studienergebnisse liegt wiederum in der unsicheren Vergleichbarkeit des exponierten Kollektivs mit dem Kontrollkollektiv.

Herz-Kreislauf-System

Es wurde beobachtet, dass bei Arbeitern, die beruflich relativ hohen elektrischen Feldstärken (bis 500 V/m während einiger Minuten täglich) ausgesetzt waren, signifikant häufiger Abnormalitäten im Ruhe- und im 24-h-EKG auftraten [117–119]. Die Abweichungen wurden als nicht pathologisch bezeichnet.

Drei Jahre nach Veröffentlichung einer Studie, die eine signifikante Erhöhung des systolischen und des diastolischen Blutdrucks durch eine 35-minütige Mobiltelefonexposition nachwies [120], zogen die Autoren ihre Ergebnisse zurück und führten diese auf methodische Fehler zurück [110]. Auch die Exposition gegenüber einem Mobiltelefon im Schlaf hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Pulsrate [40]. Mobiltelefonierende leiden gemäß einer weiteren Untersuchung auch nicht an einer erhöhten Herz-Kreislauf-Mortalität [27].

Fertilität

Eine Reihe von Studien untersuchte das Risiko für Fehlgeburten oder Missbildungen bei Föten im Zusammenhang mit der beruflichen Exposition von Physiotherapeutinnen gegenüber der Strahlung von Kurzwellendiathermiegeräten. Zum Teil wurden Effekte gefunden [121], zum Teil nicht [122–124]. Teilweise wurden die Zusammenhänge schwächer, wenn für mögliche Störgrößen korrigiert wurde (z. B. [125]). Möglicherweise ist dies ein Indiz, dass der Gebrauch von Kurzwellendiathermiegeräten noch mit anderen Risikofaktoren assoziiert war. Beachtenswert ist die Studie von Quellet-Hellstrom und Stewart [126], die kein erhöhtes Risiko im Zusammenhang mit dem Gebrauch von Kurzwellendiathermiegeräten, jedoch Hinweise für eine Assoziation mit dem Gebrauch von Mikrowellendiathermiegeräten fand. Mikrowellendiathermiegeräte emittieren in einem ähnlichen Frequenzbereich, wie sie der Mobilfunk als Trägerfrequenz verwendet.

Neuroblastom ist ein Tumor der nicht ausgereiften Nervenzellen. Neuroblastome traten beim Nachwuchs von amerikanischen Müttern häufiger auf als erwartet (OR = 2,8; CI = 0,9–8,7), wenn sie innerhalb von 2 Jahren vor der Geburt ihres Kindes in einem Beruf arbeiteten, bei der sie nach Einschätzung von Industriehygienikern wahrscheinlich gegenüber Hochfrequenzstrahlung exponiert waren [127]. Basierend auf sieben exponierten Müttern, ergab sich für den Gebrauch des Mobiltelefons ein nicht signifikant erhöhtes Risiko von 2,1 (0,4–11,0).

Eine Studie, die den Einfluss der beruflichen Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern mit einer Feldstärke von 35–95 V/m auf die Spermienqualität untersuchte, fand wenig Hinweise für einen diesbezüglichen Zusammenhang [111]. Bei 2 von 33 untersuchten

Parametern wurden signifikante Unterschiede zwischen exponierten und nicht exponierten Arbeitern beobachtet. Bei den exponierten Arbeitern war die Lebenszeit der Spermien länger und der Anteil doppelköpfiger Spermien geringer.

Genotoxische Wirkung

Die Strahlung im Mega- und Gigahertz-Frequenzbereich hat zu wenig Energie, um Moleküle zu ionisieren, kovalente Bindungen aufzubrechen oder Wasserstoffbrücken zu lösen, deshalb auch die Bezeichnung nichtionisierende Strahlung. Eine allfällige kanzerogene Wirkung erklärt man sich eher mit einem Promotions-effekt bei einer bereits genetisch vorgeschädigten Zelle [128]. Dafür gibt es eine Reihe von Wirkungshypothesen, z. B. über das Oxidase-Antioxidase-Verhältnis [129–131] oder über Hitzeschockproteine [130]. Indirekte Wirkungen könnten theoretisch in vivo auch zu einer Erhöhung von DNS-Schäden führen. Während in einer Studie die Häufigkeit von DNS-Schäden in einem exponierten Arbeiterkollektiv im Vergleich zu einem Kontrollkollektiv nicht erhöht war [132], wurden in zwei anderen Studien bei den exponierten Personen häufiger azentrische Fragmente und Chromatidenbrüche gefunden [133, 134]. Die Angaben über potenzielle Risikofaktoren wie das Rauchverhalten in den untersuchten Kollektiven waren in diesen Studien jedoch so spärlich, dass nicht beurteilt werden kann, welche Rolle Fremdeinflüsse auf das Resultat gespielt hatten.

Brustkrebs

Nur wenig untersucht wurde ein erhöhtes Brustkrebsrisiko im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern. Eine Untersuchung ergab bei Frauen, die im Schichtbetrieb auf norwegischen Schiffen im Telegrafiebereich arbeiteten, ein statistisch signifikant erhöhtes Brustkrebsrisiko. Möglicherweise spielten dabei jedoch die Lichtexposition in der Nacht, niederfrequente EMF-Exposition oder chronobiologische Störungen wegen der Schichtarbeit die entscheidende Rolle. Die drei anderen Studien zu dieser Thematik fanden kein erhöhtes Risiko [70, 85, 91].

Augentumoren

In einer Studie wurde für Mobilfunktelefon- und Funkgerätnutzer ein rund drei- bis vierfach erhöhtes, statistisch signifikantes Risiko für den häufigsten Augentumor, den Aderhauttumor, beobachtet [135]. Diese Untersuchung beruht jedoch nur auf wenigen exponierten Fällen. Kein erhöhtes Augentumorrisiko wurde in der dänischen Registerstudie für Mobiltelefonbenutzer beobachtet [70, 136]. Ebenfalls war das Augentumorrisiko um einen englischen Radiosender nicht erhöht [85].

Unwahrscheinliche Effekte

Mortalität

Bisher fand keine Studie, dass die Mortalität für alle Todesursachen insgesamt bei Exposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung erhöht ist [89, 91, 98, 137, 138]. Wie oben aufgeführt, fanden einige dieser Sterblichkeitsstudien jedoch erhöhte Risiken für bestimmte Tumorarten (z. B. Leukämien [89, 98]). Das kann allenfalls als Indiz gewertet werden, dass die in diesen Studien gefundenen kanzerogenen Wirkungen real sind und nicht durch die Selektion eines besonders morbiden Kollektivs zustande gekommen sind (Selektionsbias).

Weitere Tumoren

Zur Diskussion steht ein erhöhtes Hodenkrebsrisiko durch Hochfrequenzstrahlung, da bei den Hoden, wie beim Auge, der physiologische Temperatúrausgleich aufgrund der geringeren Durchblutung weniger effizient ist als in anderen Körpergeweben. Eine Studie fand ein signifikant dreifach erhöhtes Risiko bei Arbeitern, wenn sie die EMF-Exposition selbst geschätzt hatten, jedoch keinen Zusammenhang zur EMF-Exposition, die von den Berufsbezeichnungen abgeleitet wurde [139]. In einer Polizistenkohorte wurden 6 Hodenkrebsfälle beobachtet, was 7-mal mehr war als erwartet. Als einzige mögliche Ursache wurde die Benutzung von Radarpistolen ausgemacht [140–142]. Bei der dänischen Registerstudie an Mobilfunktelefonierenden wurde von allen untersuchten Tumorarten bei Männern das höchste Risiko für Hodentumoren gefunden. Das standardisierte Inzidenzverhältnis war bei Mobiltelefonbenutzern um 12% (Vertrauensintervall: –3–30%) höher als bei der Allgemeinbevölkerung [70].

Andere Tumoren als die bisher angesprochenen wurden in mehreren Studien untersucht [70, 85, 88, 91, 143]. Vereinzelt gefundene Zusammenhänge sind vermutlich auf methodische Schwächen oder Zufall zurückzuführen. Für eine mögliche Assoziation besteht wenig Evidenz.

Schlussfolgerung

Da die möglichen Wirkungsmechanismen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern im Niedrigdosisbereich noch nicht bekannt sind, ist die Ableitung von konkreten Gesundheitseffekten beim Menschen aus Zell- und Tierversuchen mit großer Unsicherheit behaftet. Zelluläre Effekte werden beim Menschen möglicherweise durch Rückkoppelungsprozesse kompensiert. Untersuchungen an Zellen (in vitro) oder Tieren können zwar Anhaltspunkte für mögliche Gesundheitsgefährdungen am Menschen liefern, sie dienen aber vor allem der Erforschung von Wirkungsmechanismen von elektromagnetischer Strahlung auf biologische Systeme. Für die Beurteilung von potenziellen Gesundheitseffekten in der allgemeinen Bevölkerung benötigt man Studien an Menschen.

Die experimentellen Studien an Menschen belegen relativ konsistent unmittelbare Wirkungen der Hochfrequenzstrahlung auf Hirnströme, Reaktionszeiten und Schlafphasen (siehe Tab. 2). Diese Wirkungen treten bei so tiefen Feldstärken auf, dass sie nicht mit einem konventionellen Erwärmungsansatz erklärt werden können. Der Vorteil der experimentellen Studien liegt in der guten Kontrolle der Expositionsbedingungen. Jedoch können aus praktischen Gründen nur unmittelbare oder Kurzzeit-Wirkungen erforscht werden. Aus ethischen Gründen können niemals gesundheitsschädigende Wirkungen Gegenstand der Untersuchung sein. Entsprechend bleibt die Relevanz der Resultate von experimentellen Studien für das Gesundheitsrisiko unklar. Gesundheitsschädigende Einflüsse der Hochfrequenzstrahlung im Niedrigdosisbereich können nur mit Langzeitstudien an Menschen in ihrer natürlichen Umgebung erforscht werden. Solche epidemiologischen Langzeitstudien fanden mehrfach, dass in der Nähe von TV- und Radiosendern das Leukämie- und Lymphomrisiko erhöht war. Diese Studien weisen jedoch eine Reihe

von Schwächen auf, so dass eine abschließende Beurteilung der Assoziation zurzeit noch nicht möglich ist.

Bisher wurde in keiner epidemiologischen Studie ein erhöhtes Hirntumorrisiko für Mobilfunkbenutzer nachgewiesen. Die durchschnittliche Dauer der Mobiltelefonbenutzung in den untersuchten Kollektiven war jedoch gering, verglichen mit der Latenzzeit von Hirntumoren. Obwohl das Risiko insgesamt nicht statistisch erhöht war, wurde in drei Untersuchungen eine Zunahme des Risikos mit zunehmender Benutzungsdauer gefunden und in zwei Studien wurde ein erhöhtes Risiko für Benutzer von Analogtelefonen beobachtet. Analogtelefone sind schon seit längerer Zeit auf dem Markt und strahlen stärker als die heutigen GSM-Telefone. Diese Befunde können als Hinweis für einen möglichen Zusammenhang interpretiert werden. Epidemiologische Studien zu anderen Krankheitssymptomen sind zurzeit noch wenig aussagekräftig. Die Hauptschwierigkeit liegt generell in einer validen Expositionsabschätzung und in der adäquaten Berücksichtigung von Störgrößen. Die Bewertung von gefundenen Assoziationen ist deshalb im Einzelfall schwierig zu bewerten.

Für eine abschließende Bewertung des Gesundheitsrisikos der allgemeinen Bevölkerung durch hochfrequente Strahlung in der Umwelt ist die Datenlage zurzeit noch unbefriedigend. Aufgrund einiger Indizien aus epidemiologischen Studien kann eine Gesundheitsgefährdung der Bevölkerung durch Mobilfunkstrahlung im Bereich der ICNIRP-Richtwerte nicht ausgeschlossen werden (Fehler der 2. Art). In experimentellen Studien an Menschen wurden unmittelbare Effekte beobachtet, die nicht mit einem konventionellen thermischen Wirkungsmechanismus erklärt werden können. Da die bisherigen, noch lückenhaften wissenschaftlichen Studien eine gesundheitliche Unbedenklichkeit weder ausschließen noch positiv belegen, ist für jeden Einzelnen als auch für die Bevölkerung als Ganzes ein vorsorgeorientierter Ansatz im Umgang mit nichtionisierender Strahlung zu empfehlen.

Literatur

- 1 ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 1998; 74 (4): 494–522
- 2 Rösli M, Rapp R. Hochfrequente Strahlung und Gesundheit. BUWAL Umwelt-Materialien Nr. 162. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_nis/ 2003
- 3 Repacholi MH, Cardis E. Criteria for EMF health risk assessment. *Radiation Protection Dosimetry* 1997; 72 (3–4): 305–312
- 4 Kleinstein BH, Goldberg RB, Collier MN et al. Biological effects of non-ionizing electromagnetic radiation. *Bener Digest Update*. Philadelphia: Information Ventures Inc. 2002
- 5 Hill AB. The environment and disease: association or causation. *Proceedings of the Royal Society of Medicine* 1965; 58: 295–300
- 6 Traavik T. Too early may be too late. Ecological risks associated with the use of naked DNA as a biological tool for research, production and therapy. Research report for Directorate for Nature Management. Norway 1999
- 7 Rothman KJ, Greenland S. *Modern Epidemiology*. 2nd edition. Boston, MA: Little, Brown and Company 1998
- 8 Rösli M, Wanner M, Braun-Fahrlander C. Comparison of measurements and calculations of electromagnetic radiation from GSM mobile phone base stations. *Epidemiology* 2002; 13 (4): S196

- 9 Mantipliy ED, Pohl KR, Poppell SW et al. Summary of measured radio-frequency electric and magnetic fields (10 kHz to 30 GHz) in the general and work environment. *Bioelectromagnetics* 1997; 18 (8): 563–577
- 10 Ramsdale PA, Wiener A. Cellular phone base stations: Technology and exposures. *Radiation Protection Dosimetry* 1999; 83 (1–2): 125–130
- 11 Schüz J, Mann S. A discussion of potential exposure metrics for use in epidemiological studies on human exposure to radiowaves from mobile phone base stations. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 2000; 10 (6): 600–605
- 12 Klaus G. Messkampagne NIS-Immissionen im HF-Bereich. Liestal: Lufthygieneamt beider Basel 2002
- 13 Anglesio L, Benedetto A, Bonino A et al. Population exposure to electromagnetic fields generated by radio base stations: evaluation of the urban background by using provisional model and instrumental measurements. *Radiat Prot Dosimetry* 2001; 97 (4): 355–358
- 14 Wiart J, Dale C, Bosisio AV et al. Analysis of the influence of the power control and discontinuous transmission on RF exposure with GSM mobile phones. *Ieee Transactions On Electromagnetic Compatibility* 2000; 42 (4): 376–385
- 15 King RWP. Electric currents and fields induced in cells in the human brain by radiation from hand-held cellular telephones. *Journal of Applied Physics* 2000; 87 (2): 893–900
- 16 Gandhi OP, Li QX, Kang G. Temperature rise for the human head for cellular telephones and for peak SARs prescribed in safety guidelines. *Ieee Transactions On Microwave Theory and Techniques* 2001; 49 (9): 1607–1613
- 17 Balzano Q. Exposure metrics for RF epidemiology: Cellular phone handsets. *Radiation Protection Dosimetry* 1999; 83 (1–2): 165–169
- 18 Karus M, Niessen P, Bathow M. Elektrosmog durch schnurlose DECT-Telefone. *ElektrosmogReport* 2002; 8 (3): 1–2
- 19 Kainz W, Neubauer G, Alesch F et al. Electromagnetic compatibility of electronic implants – review of the literature. *Wien Klin Wochenschr* 2001; 113 (23–24): 903–914
- 20 de Seze R. Epidemiology, human experiments and overexposures to assess health risk. *Measurement & Control* 1998; 31 (6): 176–179
- 21 Frey AH. Auditory system response to radio frequency energy. *Aerosp Med* 1961; 32: 1140–1142
- 22 Lin JC. Cellular telephones and their effect on the human brain. *Ieee Antennas and Propagation Magazine* 1999; 41 (6): 132–133
- 23 Lin JC. Hearing microwaves: The microwave auditory phenomenon. *Ieee Antennas and Propagation Magazine* 2001; 43 (6): 166–168
- 24 Redelmeier DA, Tibshirani RJ. Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions. *The New England Journal of Medicine* 1997; 336 (7): 453–458
- 25 Redelmeier DA, Tibshirani RJ. Car phones and car crashes: some popular misconceptions. *Canadian Medical Association Journal* 2001; 164 (11): 1581–1582
- 26 Sagberg F. Accident risk of car drivers during mobile telephone use. *International Journal of Vehicle Design* 2001; 26 (1): 57–69
- 27 Dreyer NA, Loughlin JE, Rothman KJ. Cause-specific mortality in cellular telephone users. *Journal of the American Medical Association* 1999; 282: 1814–1816
- 28 Hamblin DL, Wood AW. Effects of mobile phone emissions on human brain activity and sleep variables. *Int J Radiat Biol* 2002; 78 (8): 659–669
- 29 Hladky A, Musil J, Roth Z et al. Acute effects of using a mobile phone on CNS functions. *Cent Eur J Public Health* 1999; 7 (4): 165–167
- 30 Urban P, Lukas E, Roth Z. Does acute exposure to the electromagnetic field emitted by a mobile phone influence visual evoked potentials? A pilot study. *Cent Eur J Public Health* 1998; 6 (4): 288–290
- 31 Eulitz C, Ullsperger P, Freude G et al. Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *Neuroreport* 1998; 9 (14): 3229–3232
- 32 Krause CM, Sillanmaki L, Koivisto M et al. Effects of electromagnetic fields emitted by cellular phones on the electroencephalogram during a visual working memory task. *International Journal of Radiation Biology* 2000; 76 (12): 1659–1667
- 33 Jech R, Sonka K, Ruzicka E et al. Electromagnetic field of mobile phones affects visual event related potential in patients with narcolepsy. *Bioelectromagnetics* 2001; 22 (7): 519–528
- 34 Freude G, Ullsperger P, Eggert S et al. Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials. *Bioelectromagnetics* 1998; 19 (6): 384–387
- 35 Freude G, Ullsperger P, Eggert S et al. Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 2000; 81 (1–2): 18–27
- 36 Preece AW, Iwi G, Davies-Smith A et al. Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *International Journal of Radiation Biology* 1999; 75 (4): 447–456
- 37 Koivisto M, Krause CM, Revonsuo A et al. The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *Neuroreport* 2000; 11 (8): 1641–1643
- 38 Koivisto M, Revonsuo A, Krause C et al. Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport* 2000; 11 (2): 413–415
- 39 Edelstyn N, Oldershaw A. The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport* 2002; 13 (1): 119–121
- 40 Mann K, Röschke J. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 1996; 33 (1): 41–47
- 41 Borbely AA, Huber R, Graf T et al. Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neuroscience Letters* 1999; 275 (3): 207–210
- 42 Huber R, Graf T, Cote KA et al. Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport* 2000; 11 (15): 3321–3325
- 43 Lebedeva NN, Sulimov AV, Sulimova OP et al. Investigation of brain potentials in sleeping humans exposed to the electromagnetic field of mobile phones. *Critical Reviews in Biomedical Engineering* 2001; 29 (1): 125–133
- 44 Huber R, Treyer V, Borbely AA et al. Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res* 2002; 11 (4): 289–295
- 45 Wagner P, Röschke J, Mann K et al. Human sleep EEG under the influence of pulsed radio frequency electromagnetic fields – Results from polysomnographies using submaximal high power flux densities. *Neuropsychobiology* 2000; 42 (4): 207–212
- 46 Wagner P, Röschke J, Mann K et al. Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: A polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics* 1998; 19 (3): 199–202
- 47 von Klitzing L. Low-frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG of man. *Physica Medica* 1995; 11 (2): 77–80
- 48 Reiser H, Dimpfel W, Schober F. The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *Eur J Med Res* 1995; 1: 27–32
- 49 Lebedeva NN, Sulimov AV, Sulimova OP et al. Cellular phone electromagnetic field effects on bioelectric activity of human brain. *Critical Reviews in Biomedical Engineering* 2000; 28 (1–2): 323–337
- 50 Croft RJ, Chandler JS, Burgess AP et al. Acute mobile phone operation affects neural function in humans. *Clin Neurophysiol* 2002; 113 (10): 1623–1632
- 51 Röschke J, Mann K. No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 1997; 18 (2): 172–176
- 52 Hietanen M, Kovala T, Hamalainen AM. Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health* 2000; 26 (2): 87–92
- 53 Meister A, Eggert S, Richter J et al. Die Wirkung eines höchstfrequenten elektromagnetischen Feldes (2,45 GHz) auf Wahrnehmungsprozesse, psychische Leistung und Befinden. *Zentralblatt gesamte Hygiene* 1989; 35 (4): 203–205
- 54 Maier R. Do pulsed electromagnetic fields impair CNS activity? *Biomedizinische Technik* 2001; 46 (1–2): 18–23
- 55 Hocking B, Westerman R. Neurological abnormalities associated with mobile phone use. *Occupational Medicine-Oxford* 2000; 50 (5): 366–368
- 56 Hocking B, Westerman R. Neurological abnormalities associated with CDMA exposure. *Occupational Medicine-Oxford* 2001; 51 (6): 410–413
- 57 Hocking B. Symptoms associated with mobile phone use. *Occupational Medicine-London* 1998; 48 (6): 357–360
- 58 Chia SE, Chia HP, Tan JS. Prevalence of headache among handheld cellular telephone users in Singapore: A community study. *Environmental Health Perspectives* 2000; 108 (11): 1059–1062
- 59 Chia SE, Chia HP, Tan JS. Health hazards of mobile phones – Prevalence of headache is increased among users in Singapore. *British Medical Journal* 2000; 321 (7269): 1155–1156

- ⁶⁰ Oftedal G, Wilen J, Sandstrom M et al. Symptoms experienced in connection with mobile phone use. *Occup Med Lond* 2000; 50 (4): 237–245
- ⁶¹ Santini R, Seigne M, Bonhomme-Faivre L et al. Symptoms experienced by users of digital cellular phones. *Pathologie Biologie* 2001; 49 (3): 222–226
- ⁶² Sandstrom M, Wilen J, Oftedal G et al. Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Occupational Medicine-Oxford* 2001; 51 (1): 25–35
- ⁶³ Koivisto M, Haarala C, Krause CM et al. GSM phone signal does not produce subjective symptoms. *Bioelectromagnetics* 2001; 22 (3): 212–215
- ⁶⁴ Santini R, Santini P, Danze JM et al. [Investigation on the health of people living near mobile telephone relay stations: I/Incidence according to distance and sex]. *Pathol Biol (Paris)* 2002; 50 (6): 369–373
- ⁶⁵ Santini R, Santini P, Seigne M et al. Symptomes exprimés par des riverains de station relais de téléphonie mobile. *La Presse Medicale* 2001; 30 (32): 1594
- ⁶⁶ Hardell L, Nasman A, Pahlson A et al. Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: A case-control study. *International Journal of Oncology* 1999; 15 (1): 113–116
- ⁶⁷ Hardell L, Nasman A, Pahlson A et al. Case-control study on radiology work, medical x-ray investigations, and use of cellular telephones as risk factors for brain tumors. *Medscape*: <http://www.medscape.com/Medscape/GeneralMedicine/journal/2000/v02.n03/mgm0504.hard/pnt-mgm0504.hard.html>, 2000.
- ⁶⁸ Muscat JE, Malkin MC, Thompson S et al. Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *Jama-Journal of the American Medical Association* 2000; 284 (23): 3001–3007
- ⁶⁹ Inskip PD, Tarone RE, Hatch EE et al. Cellular-telephone use and brain tumors. *New England Journal of Medicine* 2001; 344 (2): 79–86
- ⁷⁰ Johansen C, Boice JD, McLaughlin JK et al. Cellular telephones and cancer – A nationwide cohort study in Denmark. *Journal of the National Cancer Institute* 2001; 93 (3): 203–207
- ⁷¹ Auvinen A, Hietanen M, Luukkonen R et al. Brain tumors and salivary gland cancers among cellular telephone users. *Epidemiology* 2002; 13 (3): 356–359
- ⁷² Muscat JE, Malkin MG, Shore RE et al. Handheld cellular telephones and risk of acoustic neuroma. *Neurology* 2002; 58 (8): 1304–1306
- ⁷³ Hardell L, Hallquist A, Mild HK et al. Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumors. *European Journal of Cancer Prevention* 2002; 11 (4): 377–386
- ⁷⁴ Hardell L, Mild HK, Carlberg M. Case-control study on the use of cellular and cordless phones and the risk for malignant brain tumours. *Int J Radiat Biol* 2002; 78 (10): 931–936
- ⁷⁵ Erman M, Celik I, Kars A. Cellular telephones and brain tumors. *New England Journal of Medicine* 2001; 344 (17): 1331
- ⁷⁶ Frey AH. Cellular telephones and brain cancer: Current research. *Environmental Health Perspectives* 2001; 109 (5): A200
- ⁷⁷ Nelson NJ. Recent studies show cell phone use is not associated with increased cancer risk. *Journal of the National Cancer Institute* 2001; 93 (3): 170–172
- ⁷⁸ Godward S, Sandhu M, Skinner J et al. Re: Cellular telephones and cancer – a nationwide cohort study in Denmark. *Journal of the National Cancer Institute* 2001; 93 (11): 878
- ⁷⁹ Hocking B. Re: Cellular telephones and cancer – a nationwide cohort study in Denmark. *Journal of the National Cancer Institute* 2001; 93 (11): 877–878
- ⁸⁰ Hardell L, Mild KH. Re: Cellular telephones and cancer – a nationwide cohort study in Denmark. *Journal of the National Cancer Institute* 2001; 93 (12): 952
- ⁸¹ Kane RC. Cellular telephones and brain tumors. *New England Journal of Medicine* 2001; 344 (17): 1332
- ⁸² Kane RC. Handheld cellular telephones and brain cancer risk. *Jama-Journal of the American Medical Association* 2001; 285 (14): 1838
- ⁸³ Selvin S, Schulman J, Merrill DW. Distance and risk measures for the analysis of spatial data: a study of childhood cancers. *Soc Sci Med* 1992; 34 (7): 769–777
- ⁸⁴ Hocking B, Gordon IR, Grain HL et al. Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Medical Journal of Australia* 1996; 165 (11–12): 601–605
- ⁸⁵ Dolk H, Shaddick G, Walls P et al. Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. 1. Sutton Coldfield transmitter. *American Journal of Epidemiology* 1997; 145 (1): 1–9
- ⁸⁶ Dolk H, Elliott P, Shaddick G et al. Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. 2. All high power transmitters. *American Journal of Epidemiology* 1997; 145 (1): 10–17
- ⁸⁷ Grayson JK. Radiation exposure, socioeconomic status, and brain tumor risk in the US Air Force: a nested case-control study. *American Journal of Epidemiology* 1996; 143 (5): 480–486
- ⁸⁸ Szmigielski S. Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation. *Science of the Total Environment* 1996; 180 (1): 9–17
- ⁸⁹ Milham S Jr. Increased mortality in amateur radio operators due to lymphatic and hematopoietic malignancies. *Am J Epidemiol* 1988; 127 (1): 50–54
- ⁹⁰ Milham S Jr. Mortality by license class in amateur radio operators. *Am J Epidemiol* 1988; 128 (5): 1175–1176
- ⁹¹ Morgan RW, Kelsh MA, Zhao K et al. Radiofrequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems. *Epidemiology* 2000; 11 (2): 118–127
- ⁹² Maskarinec G, Cooper J, Swygert L. Investigation of increased incidence in childhood leukemia near radio towers in Hawaii: preliminary observations. *J Environ Pathol Toxicol Oncol* 1994; 13 (1): 33–37
- ⁹³ Cooper D, Hemmings K, Saunders P. Re: “Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I. Sutton Coldfield transmitter; II. All high power transmitters”. *American Journal of Epidemiology* 2001; 153 (2): 202–204
- ⁹⁴ Michelozzi P, Capon A, Kirchmayer U et al. Adult and Childhood Leukemia near a High-Power Radio Station in Rome, Italy. *Am J Epidemiol* 2002; 155 (12): 1096–1103
- ⁹⁵ Dahme M. Residential RF exposures. *Radiation Protection Dosimetry* 1999; 83 (1–2): 113–117
- ⁹⁶ Cherry N. A new paradigm, the physical, biological and health effects of radiofrequency/microwave radiation. Canterbury, New Zealand: Lincoln University 2000
- ⁹⁷ Fabbro-Peray P, Daures JP, Rossi JF. Environmental risk factors for non-Hodgkin's lymphoma: a population-based case-control study in Languedoc-Roussillon, France. *Cancer Causes & Control* 2001; 12 (3): 201–212
- ⁹⁸ Robinette CD, Silverman C, Jablon S. Effects upon health of occupational exposure to microwave radiation (radar). *Am J Epidemiol* 1980; 112 (1): 39–53
- ⁹⁹ Cano MI, Pollan M. Non-Hodgkin's lymphomas and occupation in Sweden. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 2001; 74 (6): 443–449
- ¹⁰⁰ Mann K, Wagner P, Brunn G et al. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. *Neuroendocrinology* 1998; 67 (2): 139–144
- ¹⁰¹ Rööslä M, Moser M, Meier M et al. Health symptoms associated with electromagnetic radiation – a questionnaire survey. In: P. Kostarakis (Hrsg). *Biological Effects of EMFs*. Rhodes: <http://www.telecom-lab.gr/2002/oct/rhodes/pap3rs/rhodes02.html>, 2002; 670–677
- ¹⁰² Altpeter ES, Krebs T, Pfluger DH et al. Study on health effects of the shortwave transmitter station of Schwarzenburg, Berne, Switzerland (Major Report). Bern: Federal Office of Energy 1995
- ¹⁰³ Radon K, Maschke C. Gibt es Elektrosensibilität im D-Netzbereich? *Umweltmed Forsch Prax* 1998; 3 (3): 125–129
- ¹⁰⁴ Mueller CH, Krueger H, Schierz C. Project NEMESIS: Perception of a 50 Hz electric and magnetic field at low intensities (laboratory experiment). *Bioelectromagnetics* 2002; 23 (1): 26–36
- ¹⁰⁵ Rea WJ, Fenyves EJ, Sujisawa I et al. Electromagnetic Field Sensitivity. *J Bioelectricity* 1991; 10: 241–256
- ¹⁰⁶ Stevens RG. Electric power use and breast cancer: a hypothesis. *Am J Epidemiol* 1987; 125 (4): 556–561
- ¹⁰⁷ de Seze R, Fabbro-Peray P, Miro L. GSM radiocellular telephones do not disturb the secretion of antepituitary hormones in humans. *Bioelectromagnetics* 1998; 19 (5): 271–278
- ¹⁰⁸ Radon K, Parera D, Rose DM et al. No effects of pulsed radio frequency electromagnetic fields on melatonin, cortisol, and selected markers of the immune system in man. *Bioelectromagnetics* 2001; 22 (4): 280–287
- ¹⁰⁹ Burch JB, Reif JS, Noonan CW et al. Melatonin metabolite excretion among cellular telephone users. *Int J Radiat Biol* 2002; 78 (11): 1029–1036
- ¹¹⁰ Braune S, Riedel A, Schulte-Monting J et al. Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals. *Radiat Res* 2002; 158 (3): 352–356

- ¹¹¹ Grajewski B, Cox C, Schrader SM et al. Semen quality and hormone levels among radiofrequency heater operators. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2000; 42 (10): 993–1005
- ¹¹² Dasdag S, Balci K, Kaya H et al. Hormone levels of people occupationally exposed to radiofrequencies. *Biochemical Archives* 1999; 15 (3): 255–260
- ¹¹³ Vangelova K, Israel M, Mihaylov S. The effect of low level radiofrequency electromagnetic radiation on the excretion rates of stress hormones in operators during 24-hour shifts. *Cent Eur J Public Health* 2002; 10 (1–2): 24–28
- ¹¹⁴ Boscolo P, Di Sciascio MB, D'Ostilio S et al. Effects of electromagnetic fields produced by radiotelevision broadcasting stations on the immune system of women. *Science of the Total Environment* 2001; 273 (1–3): 1–10
- ¹¹⁵ Del Signore A, Boscolo P, Kouri S et al. Combined effects of traffic and electromagnetic fields on the immune system of fertile atopic women. *Industrial Health* 2000; 38 (3): 294–300
- ¹¹⁶ Tuschl H, Neubauer G, Garn H et al. Occupational exposure to high frequency electromagnetic fields and its effect on human immune parameters. *Int J Occup Med Environ Health* 1999; 12 (3): 239–251
- ¹¹⁷ Bortkiewicz A, Zmyslony M, Palczynski C et al. Dysregulation of autonomic control of cardiac function in workers at AM broadcasting stations (0.738–1.503 MHz). *Electro- and Magnetobiology* 1995; 14 (3): 177–191
- ¹¹⁸ Bortkiewicz A, Gadzicka E, Zmyslony M. Heart rate variability in workers exposed to medium-frequency electromagnetic fields. *Journal of the Autonomic Nervous System* 1996; 59 (3): 91–97
- ¹¹⁹ Bortkiewicz A, Zmyslony M, Gadzicka E et al. Ambulatory ECG monitoring in workers exposed to electromagnetic fields. *Journal of Medical Engineering & Technology* 1997; 21 (2): 41–46
- ¹²⁰ Braune S, Wrocklage C, Raczek J et al. Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field. *Lancet* 1998; 351 (9119): 1857–1858
- ¹²¹ Kallen B, Malmquist G, Moritz U. Delivery outcome among physiotherapists in Sweden: is non-ionizing radiation a fetal hazard? *Arch Environ Health* 1982; 37 (2): 81–85
- ¹²² Guberan E, Campana A, Faval P et al. Gender ratio of offspring and exposure to shortwave radiation among female physiotherapists. *Scand J Work Environ Health* 1994; 20 (5): 345–348
- ¹²³ Larsen AI. Congenital malformations and exposure to high-frequency electromagnetic radiation among Danish physiotherapists. *Scand J Work Environ Health* 1991; 17 (5): 318–323
- ¹²⁴ Lerman Y, Jacobovich R, Green MS. Pregnancy outcome following exposure to shortwaves among female physiotherapists in Israel. *Am J Ind Med* 2001; 39 (5): 499–504
- ¹²⁵ Taskinen H, Kyyronen P, Hemminki K. Effects of ultrasound, shortwaves, and physical exertion on pregnancy outcome in physiotherapists. *J Epidemiol Community Health* 1990; 44 (3): 196–201
- ¹²⁶ Ouellet-Hellstrom R, Stewart WF. Miscarriages among female physical therapists who report using radio- and microwave-frequency electromagnetic radiation. *Am J Epidemiol* 1993; 138 (10): 775–786
- ¹²⁷ De Roos AJ, Teschke K, Savitz DA et al. Parental occupational exposures to electromagnetic fields and radiation and the incidence of neuroblastoma in offspring. *Epidemiology* 2001; 12: 508–517
- ¹²⁸ Blettner M, Schlehofer B. Is there an increased risk of leukemia, brain tumors or breast cancer after exposure to high-frequency radiation? *Medizinische Klinik* 1999; 94 (3): 150–158
- ¹²⁹ Hennies K, Neitzke HP, Voigt H. Mobilfunk und Gesundheit. Hannover: ECOLOG-Institut 2000
- ¹³⁰ French PW, Penny R, Laurence JA et al. Mobile phones, heat shock proteins and cancer. *Differentiation* 2001; 67 (4–5): 93–97
- ¹³¹ Repacholi MH. Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: Health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* 1998; 19 (1): 1–19
- ¹³² Garson OM, McRobert TL, Campbell LJ et al. A chromosomal study of workers with long-term exposure to radio-frequency radiation. *Med J Aust* 1991; 155 (5): 289–292
- ¹³³ Lalic H, Lekic A, Radosevic-Stasic B. Comparison of chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes from people occupationally exposed to ionizing and radiofrequency radiation. *Acta Medica Okayama* 2001; 55 (2): 117–127
- ¹³⁴ Maes A, Collier M, Slaets D et al. Cytogenetic Effects of Microwaves From Mobile Communication Frequencies (954 Mhz). *Electro- and Magnetobiology* 1995; 14 (2): 91–98
- ¹³⁵ Stang A, Anastassiou G, Ahrens W et al. The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. *Epidemiology* 2001; 12 (1): 7–12
- ¹³⁶ Johansen C, Boice JD Jr, McLaughlin JK et al. Mobile phones and malignant melanoma of the eye. *Br J Cancer* 2002; 86 (3): 348–349
- ¹³⁷ Rothman KJ, Loughlin JE, Funch DP et al. Overall mortality of cellular telephone customers. *Epidemiology* 1996; 7 (3): 303–305
- ¹³⁸ Dreyer NA, Loughlin JE, Rothman KJ. Epidemiological safety surveillance of cellular telephones in the US. *Radiation Protection Dosimetry* 1999; 83 (1–2): 159–163
- ¹³⁹ Hayes RB, Brown LM, Pottern LM et al. Occupation and risk for testicular cancer: a case-control study. *Int J Epidemiol* 1990; 19 (4): 825–831
- ¹⁴⁰ Davis RL, Mostofi FK. Cluster of testicular cancer in police officers exposed to hand-held radar. *Am J Ind Med* 1993; 24 (2): 231–233
- ¹⁴¹ Salvatore JR. Radar guns. *J Natl Cancer Inst* 1993; 85 (1): 67–68
- ¹⁴² Volkens N. Speed kills – but what about radar guns? *J Natl Cancer Inst* 1992; 84 (17): 1310–1311
- ¹⁴³ Milham S. Increased Mortality in Amateur Radio Operators Due to Lymphatic and Hematopoietic Malignancies – Reply. *American Journal of Epidemiology* 1988; 128 (6): 1384–1385