

# ICBE-EMF: Die Zeit ist reif für neue Grenzwerte

Internationale Kommission für die biologischen  
Auswirkungen elektromagnetischer Felder



Neue Medizinische  
Grenzwerte

ICBE-EMF

STOA-Studie

EWSA-Stellungnahme

NTP-Studie

Ramazzini-Studie

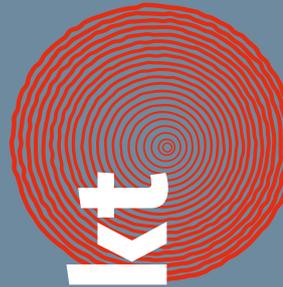
Biolnitiative

ATHEM-Report

ICNIRP

Lobby

industriennahe  
Grenzwerte



brennpunkt

AUSGABE FEBRUAR 2023

**Impressum**

brennpunkt: Ausgabe Februar 2023  
Online Veröffentlichung auf  
[www.diagnose-funk.org](http://www.diagnose-funk.org)

**Bestellung Printausgabe:**  
[shop.diagnose-funk.org/brennpunkt](http://shop.diagnose-funk.org/brennpunkt)  
Bestellnr. 249  
[bestellung@diagnose-funk.de](mailto:bestellung@diagnose-funk.de)

**Herausgeber und V.i.S.d.P**  
Diagnose-Funk e.V.  
Postfach 15 04 48  
D-70076 Stuttgart  
[www.diagnose-funk.org](http://www.diagnose-funk.org)

Diagnose-Funk Schweiz  
Heinrichsgasse 20 CH - 4055 Basel  
[kontakt@diagnose-funk.ch](mailto:kontakt@diagnose-funk.ch)

**Unterstützen Sie diagnose:funk**  
Online spenden:  
[www.diagnose-funk.org/unterstuetzen](http://www.diagnose-funk.org/unterstuetzen)

**Spendenkonto Diagnose-Funk e.V.**  
IBAN: DE39 4306 0967 7027 7638 00  
BIC: GENODEM1GLS | GLS Bank

# Internationale Grenzwertkommission ICBE-EMF (International Commission on the Biological Effects of EMF) will strengere Grenzwerte

## Die neu gegründete Grenzwertkommission weist die Unwissenschaftlichkeit der ICNIRP-Richtlinien nach

**Vorwort diagnose:funk:** Die internationale Grenzwertkommission ICBE-EMF (International Commission on the Biological Effects of EMF) publizierte im Sommer 2022 die Studie *„Wissenschaftliche Erkenntnisse entkräften gesundheitliche Annahmen, die den FCC (Federal Communication Commission, USA) und ICNIRP-Grenzwertbestimmungen für Hochfrequenzstrahlung zugrunde liegen: Folgen für 5G“ (1)*. Darin fordert sie die Rücknahme der ICNIRP-Richtlinien (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) für die Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung (RF). *„Wir fordern eine unabhängige Bewertung der Grenzwerte“*, sagte Joel Moskowitz von Berkeley Public Health, einer Abteilung der University of California, gegenüber Microwave News (2). Dies sei notwendig, weil die Richtlinien der ICNIRP *„auf Schall und Rauch“* beruhen. Die ICNIRP-Richtlinien dominieren in den westlichen Ländern die Festsetzung der Grenzwerte. *„Die Grenzwerte werden eingehalten“*, dieses Argument legitimiert den Ausbau der Mobilfunkinfrastruktur und den Vertrieb mobiler strahlender Endgeräte ohne nennenswerte Sicherheitsprüfungen.

Die Grenzwertstudie der ICBE-EMF ist ein Schlüsseldokument, deshalb legt diagnose:funk mit diesem Brennpunkt ihre Übersetzung vor. Detailliert weist die Studie nach, warum die ICNIRP-Richtlinien eine Konstruktion sind, um der Industrie die Erschließung eines riesigen Geschäftsfeldes zu ermöglichen: den kompletten digitalen Umbau der Gesellschaft, beruhend auf mikrowellenbasierter mobiler Kommunikation.

### Das Fünf-Affen-Acht-Ratten-Experiment

Die ICBE-EMF - Grenzwertstudie enthält eine detaillierte Widerlegung von 14 falschen Annahmen, die den ICNIRP-Richtlinien zugrunde liegen. Die Grenzwerte der ICNIRP basieren auf zwei Hauptannahmen: Alle biologischen Wirkungen seien auf eine übermäßige Erwärmung des Gewebes zurückzuführen und unterhalb eines vermeintlichen Schwellen-SAR-Werts von

### Die Gründungsmitglieder der ICBE-EMF

**Kommissare:** Igor Belyaev (Slowakei), Carl Blackman (USA), Suleyman Dasdag (Türkei), Alvaro de Salles (Brasilien), Claudio Fernandez (Brasilien), Paul Héroux (Kanada), Kavindra Kesari (Finnland), Henry Lai (USA), Ronald Melnick (USA), Anthony Miller (Kanada), Igor Yakymenko (Ukraine).

**Besondere Experten:** Kent Chamberlin (USA), David Gee (Großbritannien), Lennart Hardell (Schweden), Don Maisch (Australien), Erica Mallery-Blythe (Großbritannien), Albert Manville (USA), Joel Moskowitz (USA), Wenjun Sun (China).

**Geschäftsführende Direktorin:** Elizabeth Kelley (USA)

4 W/Kg würden keine Wirkungen auftreten. Die falsche Basis der ICNIRP-Grenzwerte wird in der ICBE-EMF Grenzwertstudie erstmals umfassend aufgedeckt und entzieht den ganzen Beteuerungen, diese Grenzwerte würden schützen, den Boden. Kurzzeitexperimente für die US-Marine an acht (!!!) Ratten und fünf (!!!) Affen waren eine Grundlage:

*„Die schädlichen Wirkungen, die als Grundlage für die Expositionskriterien dienten, waren Verhaltensänderungen, die bei einer kleinen Anzahl von Ratten und Affen beobachtet wurden, wenn sie bis zu 60 Minuten lang Hochfrequenzstrahlung mit Leistungsflussdichten ausgesetzt waren, bei denen der Ganzkörper-SAR-Wert etwa bei 4 W/kg oder höher lag [10, 11]. Diese Studien wurden in den frühen 1980er Jahren (1980 bzw. 1984) von Forschern der US-Marine-Abteilung durchgeführt. Folglich wurden 4 W/kg als Schwellenwert für gesundheitsschädliche Wirkungen durch Hochfrequenzstrahlung festgelegt ... Verhaltensstörungen, verbunden mit einer Erhöhung der Körper-*

temperatur um etwa 1,0 °C, wurden als das empfindlichste Maß für schädliche Wirkungen der HF-EMF-Exposition angenommen.“ (S.2, Einleitung der ICBE-EMF-Studie)

Diese Fünf-Affen-Acht-Ratten-Experimente spiegeln eine militärische Logik und den Wert eines US-amerikanischen Soldatenlebens im Kriegseinsatz wieder. Daraus wird heute eine Schutzgarantie für Milliarden Menschen abgeleitet!

Die ICBE-EMF setzt sich für Vorsorgemaßnahmen ein, um mögliche schädliche Auswirkungen zu minimieren, insbesondere für Kinder, Schwangere, Kranke und Personen mit elektromagnetischer Hypersensibilität. Dafür brauche es eine neue Festlegung der Grenzwerte auf medizinischer Basis.

## Das thermische Dogma diene militärischen Interessen

Mit dem ICBE-EMF Grenzwertpapier spitzt sich eine Diskussion zu, die seit den 50er-Jahren des letzten Jahrhunderts zwischen zwei Lagern geführt wird. Basierend auf den Empfehlungen des Physikers Hermann Schwan in den USA wurden zur nicht-ionisierenden Strahlung Grenzwerte für militärische Zwecke festgelegt, die auf dem thermischen Dogma beruhen. Es besagt: Nicht-ionisierende Strahlung kann nur durch Erhitzung schädigen. Nicht-thermische Effekte und Schädigungen seien aufgrund der geringen Energie der nicht-ionisierenden Strahlung nicht möglich. Namhafte Wissenschaftler bestritten aufgrund ihrer Forschungsergebnisse von Anfang an diese pragmatische Hypothese (3). Diese Debatte ist in dem Buch „The Microwave Debate“ (1984) von Nicholas Steneck (4) und in der historischen Analyse von Prof. Tom Butler (s.u.) dokumentiert.

Im ehemaligen Ostblock wurde das thermische Dogma abgelehnt und nicht-thermische Wirkungen in die Risikobewertung einbezogen. Spätestens mit der Aufarbeitung der sowjetischen Forschung von Hecht / Balzer für das Bundesamt für Telekommunikation im Jahr 1996 war auch den deutschen Behörden klar, dass das thermische Dogma nicht haltbar ist (5). Deshalb verschwand ihre Arbeit im Archiv. Man brauchte dieses Dogma für den geplanten Mobilfunkausbau. Ein besseres Narrativ konnte es nicht geben: Die Wärmewerte, die schädigen, werden durch Sendeanlagen nie erreicht, also kann quasi ohne Regulierung das Mobilfunknetz aufgebaut werden.



„Debatte über die Mikrowellen-Gefahr. Einige Wissenschaftler halten die Gefahr für gering. Andere, darunter auch die Russen, halten sie für ernst. Wissen sie mehr als wir?“ (aus: *The Microwave Debate*, MIT, 1984)

Links: US-Forscher Allen Frey vertritt wie die Russen die Meinung, es gibt nicht-thermische Wirkungen. Rechts: Herman Schwan, Vater der thermischen Grenzwerte.

## ICNIRP - mit neutralem Anstrich

Um das Funknetz „störungsfrei“ aufbauen zu können, musste dies scheinwissenschaftlich begründet werden. Dafür wurde die ICNIRP im Jahr 1992 als scheinneutrale Organisation ausschließlich mit Vertretern des thermischen Dogmas gegründet. Ihre Gründung war eine flankierende Maßnahme. Erstmals praktiziert von der US-Tabakindustrie, ist es eine bewährte Industrietaktik, eigene Schutz- und Forschungsorganisationen mit neutralem Anstrich zu gründen, die auch Regierungen beraten. In einem Klassiker der industriekritischen Literatur von 2005, dem Artikel von David Michaels & Celeste Monforton „*Erzeugung von Ungewissheit: Umstrittene Wissenschaft und der Schutz von öffentlicher Gesundheit und Umwelt*“, wird diese Taktik u.a. bei der Asbest-Industrie analysiert: „*Angesichts einer massiven Epidemie hat die Industrie die Wissenschaft in Frage gestellt und verzerrt. Im Jahr 1967 beauftragte John-Manville, der größte nordamerikanische Asbestproduzent, die Agentur Hill & Knowlton (Werbeagentur, d.Verf.), die empfahl, die Asbestos Information Association (AIA) zu gründen*“ (6).

Die deutsche Bundesregierung legitimierte die ICNIRP, indem sie die ICNIRP-Richtlinien frühzeitig übernahm und zudem genehmigte, dass die ICNIRP im Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ihre Zentrale einrichtet. Außerdem stellte das BfS das wissenschaftliche Sekretariat und finanziert die ICNIRP. In seinem Rückblick auf die ersten 25 Jahre der ICNIRP würdigte der nachträglich als Lobbyist enttarnte Michael Repacholi, einer der Väter der ICNIRP, die unermüdliche Unterstützung durch die deutsche Regierung:

*„Sehr wichtig für das Budget der Kommission und die langfristige operative Stabilität war die Gewährung einer finanziellen Unterstützung durch die deutsche Regierung für die laufenden Kosten des wissenschaftlichen Sekretariats der ICNIRP, eines Reisekostenzuschusses und der Finanzierung von Dokumentenbearbeitung und Druck“ (7).*

## Die Legitimations-Funktion der Grenzwerte

„Die Grenzwerte werden eingehalten“, das ist der Schutzwall, an dem jede Kritik abprallt, mit erheblichen Konsequenzen: Gerichte lehnen eine Beweisführung zur Schädlichkeit nicht-ionisierender Strahlung auf Grund dieser Legitimation ab, Politiker verweisen in jedem Brief auf die ICNIRP und das BfS und sehen keinen Grund, selbst neuen Forschungsergebnissen nachzugehen und Behörden zu kontrollieren. Sie sehen daher auch keinen Handlungsbedarf. So schrieb im Dezember 2022 ein SPD-Bundestagsabgeordneter einem diagnose:funk Mitglied, das ihm die STOA-Studie zugesandt hatte:

*„Sie schreiben, dass Sie die Stellungnahmen des Bundesamtes für Strahlenschutz (zur STOA-Studie, d. Verf.) bereits kennen. Ich stütze meine Einschätzung zu gesundheitlichen Auswirkungen von Strahlung aber natürlich auf deren Urteil, schließlich handelt es sich bei den Mitarbeiter:innen der Behörde um Expert:innen auf diesem Gebiet. Wir haben in Deutschland mit dem Bundesamt für Strahlenschutz eine kompetente Behörde, die neue Technologien umfassend und gründlich prüft. Außerdem gelten auch auf europäischer Ebene hohe Standards zum Gesundheitsschutz, das gilt auch im Bereich Strahlenschutz. Ich habe vollstes Vertrauen in unsere nationalen und internationalen Prüfinstitute. Berichte über mögliche Risiken werden natürlich ernst genommen, daher wurden alle zugelassenen Technologien vorher umfassend geprüft. Hierbei kamen alle involvierten Behörden übereinstimmend zu dem Schluss, dass Mobilfunkstrahlung, inklusive dem 5G-Standard, genutzt werden kann.“*

Dieser schon blinde Glaube an die Behörden ist bei der Digitalisierung besonders ausgeprägt. Sicher weiß der Abgeordnete nicht - oder will es vielleicht nicht wissen - , dass bereits im Jahr 2005 in den „Leitlinien Strahlenschutz“ des BfS die Einführung des Mobilfunks ohne Technikfolgenabschätzung kritisiert wurde, und bei 5G immer noch keine ausreichende Forschung vorliegt. Das wird nahezu einhellig in EU-Dokumenten und in der Wissenschaft kritisiert. Kritische Bürgerinnen und Bürger glaubten weder dem Bundesamt für Risikobewertung, dass Glyphosat unschädlich sei, noch dem Kraftfahrzeug-Bundesamt, dass Diesel-Abgaswerte eingehalten würden. Doch auf Grund der eigenen vorteilhaften Nutzung digitaler Geräte bis hin zur Sucht will man an die Unschädlichkeit der Mobilfunkstrahlung und an das BfS glauben. Das Sein bestimmt das Bewusstsein und führt hier zur kognitiven Dissonanz. Das erschwert eine rationale Debatte.

Angesichts der Studienergebnisse der letzten 20 Jahre sind die Standpunkte der ICNIRP schon lange nicht mehr haltbar. Man denke hier an den STOA-Review zu Krebs und Fertilität, die NTP- und Ramazzini-Studien zum Krebspotential, den Review von Mevissen / Schürmann zu oxidativem Zellstress, die vielen Reviews zu Fertilitätsschädigungen, sie alle weisen nicht-thermische Wirkungen nach. Im ElektrosmogReport und auf der Datenbank EMFData.org dokumentiert diagnose:funk den Forschungsstand. Die Risiken werden zunehmend in Teilen der Politik erkannt. Im März 2022 forderte der Europäische Wirtschafts- und Sozialausschuss (EWSA) des EU-Parlaments die Auflösung der ICNIRP und ihre Ersetzung durch ein unabhängiges Gremium (8).

## Analysen des politischen Netzwerkes der ICNIRP

Die ICNIRP hat eine politische Funktion. Sie sichert die Geschäfte der Mobilfunkindustrie ab. Die Deutungshoheit der ICNIRP wurde 2019 in Frage gestellt, nachdem *Investigate Europe* - ein Team von Journalisten - eine ausführliche Analyse im Tagesspiegel veröffentlichte. Ihr Urteil: Die ICNIRP ist ein Schutzwall der Industrie (9). Im darauffolgenden Jahr veröffentlichten zwei Mitglieder des Europäischen Parlaments, Klaus Buchner und Michèle Rivasi, einen 98-seitigen Bericht über die ICNIRP mit dem Titel *„Interessenkonflikte, Corporate Capture und der Vorstoß für 5G“* (10). Sie nannten die ICNIRP *„einseitig“* und ohne medizinische Qualifikation, Gesundheitsrisiken zu bewerten. Die Kritiken in Fachzeitschriften häufen sich, die ICNIRP und das BfS weichen ihnen aus.

Die Stellungnahme der Grenzwertkommission ICBE-EMF ist ein entscheidendes Dokument, weil es mit neuen Details nachweist, dass die ICNIRP-Richtlinien keine Schutzfunktion haben. Mit den Nachweisen der ICBE-EMF, unterstützt durch die Forderung der EWSA nach Ersetzung der ICNIRP, kommt deren thermisches Kartenhaus ins Wanken.

## Die ICNIRP-Thesen sind längst widerlegt

Wer sich noch tiefer in die nun seit 70 Jahren geführte Diskussion einlesen will, dem empfehlen wir weitere Analysen zu den ICNIRP-Hypothesen und ihrer Geschichte. Auf der diagnose:funk Homepage sind sie eingestellt (11). Sie kommen zum gleichen Schluss:

- Die ICNIRP ist ein „Closed-Club“ ohne demokratische Legitimation und Strukturen, der nur Mitglieder mit industriekompatibler Meinung aufnimmt.
- Die ICNIRP vertritt nicht die Meinung der Mehrheit der wissenschaftlichen Gemeinschaft.
- Die ICNIRP hat ein selbstreferentielles System geschaffen, das darin besteht, dass in nationalen Schutz- und Beurteilungsgremien weltweit, in großen europäischen Staaten, der Europäischen Union und der WHO ICNIRP-Mitglieder sitzen, die sich auch gegenseitig auf ihre eigenen Gutachten berufen.

**Analyse I:** Bereits im Jahr 2000 lag eine umfassende Widerlegung der ICNIRP-Richtlinien von Neil Cherry (Lincoln Universität Neuseeland) vor mit dem Titel *„Kritik der Einschätzungen der Auswirkungen auf die Gesundheit in den ICNIRP-Richtlinien für Hochfrequenz- und Mikrowellenstrahlung (100 kHz – 300 GHz)“* (12).

**Analyse II:** Wie manipulativ die ICNIRP arbeitet, zeigt Sarah J. Starkey am Beispiel des AGNIR-Berichts (Advisory Group On Non-ionising Radiation, Großbritannien) in ihrem Artikel *„Fehlerhafte offizielle Bewertung der Sicherheit von Funkstrahlung durch die Beratergruppe für nicht-ionisierende Strahlung“*, der in deutscher Übersetzung als diagnose:funk Brennpunkt erschienen ist (13).

**Analyse III:** Die Butler-Recherche enthüllt den Einfluss der Industrie auf die weltweite Strahlenschutzpolitik. Prof. Tom Butler (Irland) analysiert die Geschichte der ICNIRP als verlängerter Arm der Industrie, deren Hauptaufgabe darin besteht, *„wissenschaftliche Erkenntnisse zielführend zu verwerfen.“* Die Analyse ist als diagnose:funk Brennpunkt erschienen.

**Analyse IV:** Prof. Dariusz Leszczynski (Finnland), Mitglied vieler internationaler Kommissionen, nahm Stellung zu den Grenzwertfestlegungen und Aussagen der ICNIRP zur Sicherheit von 5G. Der Kern seiner Kritik:

*„ICNIRP gibt Sicherheitsrichtlinien heraus, die für die Telekommunikationsindustrie überlebenswichtig sind. ... Es gibt keine ausreichende Forschung zu 5G-Millimeterwellen, um zu behaupten, dass die ICNIRP-Sicherheitsrichtlinien wissenschaftlich fundiert sind und die Sicherheit aller Nutzer bei jahrzehntelanger Exposition gewährleisten.“*

**Analyse V:** diagnose:funk Brennpunkt zur Hardell / Carlberg-Analyse: *„Grenzwerte, die von der Lobbyorganisation ICNIRP mit Sitz im Bundesamt für Strahlenschutz empfohlen werden, schützen nicht“*. Die Autoren schreiben: *„Gesundheitsrisiken durch hochfrequente Strahlung, einschließlich 5G, sollten von Experten ohne Interessenkonflikte bewertet werden.“* Die Interessenkonflikte der ICNIRP-Mitglieder werden aufgedeckt.

Aus allen diesen Dokumenten ergibt sich: Die ICNIRP - Richtlinien und die daraus abgeleiteten Grenzwerte sind wissenschaftlich unhaltbar und ohne Schutzfunktion.

Es muss deshalb gefordert werden: Die Bundesregierung muss die Zusammenarbeit mit der ICNIRP beenden, die Grenzwertkommission ICBE-EMF anerkennen und neue Grenzwerte festlegen.

## Quellen

- (1) International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields (ICBE-EMF). Scientific evidence invalidates health assumptions underlying the FCC and ICNIRP exposure limit determinations for radiofrequency radiation: implications for 5G. *Environ Health* 21, 92 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12940-022-00900-9>
- (2) Microwave News, 01.11.2022: New Challenge to ICNIRP Dissident Scientists Seek Tighter Health Limits. Will They Succeed Where Others Failed? [www.microwavenews.com/news-center/new-challenge-icnirp](http://www.microwavenews.com/news-center/new-challenge-icnirp)
- (3) Klaus Scheler (2019): „Mobilfunkstrahlung hat zu wenig Energie, um Zellen zu schädigen. Oxidativer Stress ist unplausibel,“ in der Artikelserie Scheinargumente: [www.diagnose-funk.org/1441](http://www.diagnose-funk.org/1441)
- (4) Steneck, Nicholas H.: The Microwave Debate. 1984, MIT; siehe auch: Steneck et al.: The Origins of U.S. Safety Standards for Microwave Radiation, Science Vol. 208, 1980
- (5) Hecht, Karl / Balzer, Hans-Ullrich: Biologische Wirkungen Elektromagnetischer Felder im Frequenzbereich 0 -3 GHz auf den Menschen, Studie russischer Literatur von 1960 bis 1996 im Auftrag des Bundesministeriums für Telekommunikation, Auftrag-Nr. 4131/630 402, 14.11.1996.
- (6) David Michaels: Wenn wissenschaftliche Erkenntnisse mächtige Interessen bedrohen. Über die Taktiken der Industrie: Zweifel säen, um Schutzvorschriften zu verhindern. [www.diagnose-funk.org/1882](http://www.diagnose-funk.org/1882)
- (7) Zitiert bei Microwave News, [www.microwavenews.com/news-center/new-challenge-icnirp](http://www.microwavenews.com/news-center/new-challenge-icnirp)
- (8) Auf einen Blick: EU-Dokumente fordern Umsteuern in der Strahlenschutzpolitik: STOA-Studie, EWSA-Stellungnahme, EU-Briefing u.a. diagnose:funk dokumentiert die EU-Dokumente und analysiert die politische Kontroverse über ihre Bedeutung, [www.diagnose-funk.org/1899](http://www.diagnose-funk.org/1899)
- (9) Tagesspiegel, 13.01.2019: Europa ignoriert mögliches Krebsrisiko von 5G, Tagesspiegel recherchiert zu 5G / Mobilfunkstudienlage, [www.diagnose-funk.org/1335](http://www.diagnose-funk.org/1335)
- (10) Der Buchner/Rivasi-Report über die ICNIRP, [www.diagnose-funk.org/1701](http://www.diagnose-funk.org/1701)
- (11) Dokumentation: Das Lobbysystem ICNIRP und Bundesamt für Strahlenschutz - 4 Analysen, [www.diagnose-funk.org/1702](http://www.diagnose-funk.org/1702)
- (12) Download: [www.diagnose-funk.org/1702](http://www.diagnose-funk.org/1702)
- (13) diagnose:funk Brennpunkt: Mobilfunk-Grenzwerte scheinwissenschaftlich legitimiert. Studie zeigt Manipulationen auf Kosten des Bürgers, [www.diagnose-funk.org/1163](http://www.diagnose-funk.org/1163)

## COMMENT

## Open Access

# Wissenschaftliche Erkenntnisse entkräften gesundheitliche Annahmen, die den FCC- und ICNIRP-Grenzwertbestimmungen für Hochfrequenzstrahlung zugrunde liegen: Folgen für 5G

Internationale Kommission für die biologischen Auswirkungen elektromagnetischer Felder (ICBE-EMF)\*

## Zusammenfassung

In den späten 1990er Jahren haben die FCC und die ICNIRP Grenzwerte für die Exposition gegenüber hochfrequenter Funkstrahlung (HF) festgelegt, um die Öffentlichkeit und Arbeitnehmer vor schädlichen Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung (HF) zu schützen. Diese Grenzwerte basierten auf den Ergebnissen von in den 1980er Jahren durchgeführten Verhaltensstudien mit 40- bis 60-minütigen Expositionen an 5 Affen und 8 Ratten und der anschließenden Anwendung willkürlicher Sicherheitsfaktoren auf einen mutmaßlichen Schwellenwert der spezifischen Absorptionsrate (SAR) von 4 W/kg. Die Grenzwerte basierten außerdem auf zwei Hauptannahmen: Alle biologischen Wirkungen seien auf eine übermäßige Erwärmung des Gewebes zurückzuführen und unterhalb der vermeintlichen Schwellen-SAR-Werte würden keine Wirkungen auftreten, sowie auf weiteren zwölf Annahmen, die weder von der FCC noch von der ICNIRP spezifiziert wurden. In diesem Papier zeigen wir, wie die umfangreiche Forschung der vergangenen 25 Jahre bezüglich Hochfrequenzstrahlung belegt, dass die Annahmen, die den FCC- und ICNIRP-Grenzwerten zugrunde liegen, ungültig sind und weiterhin eine Gefahr für die öffentliche Gesundheit darstellen. Unerwünschte Wirkungen, die bei Expositionen unterhalb des SAR-Grenzwertes beobachtet wurden, beinhalten die nicht-thermische Induktion reaktiver Sauerstoffspezies, DNA-Schäden, Kardiomyopathie, Karzinogenität, Spermenschädigung und neurologische Wirkungen, einschließlich elektromagnetischer Überempfindlichkeit. Außerdem haben mehrere Studien am Menschen statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen Exposition mit Hochfrequenzstrahlung und erhöhtem Risiko für Gehirn- und Schilddrüsenkrebs nachgewiesen. Dennoch bestätigten die FCC und die ICNIRP im Jahr 2020 und vor dem Hintergrund der im vorliegenden Artikel begutachteten Beweise erneut die gleichen Grenzwerte, die in den 1990er Jahren festgelegt wurden. Folglich schützen diese Expositionsgrenzwerte, die auf falschen Annahmen beruhen, Arbeitnehmer, Kinder, überempfindliche Personen und die allgemeine Bevölkerung nicht ausreichend vor kurz- oder langfristiger Exposition mit Hochfrequenzstrahlung. Dringend erforderlich sind daher Grenzwerte, die die Gesundheit von Mensch und Umwelt schützen. Diese Grenzwerte müssen auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und nicht auf irrigen Annahmen beruhen, insbesondere angesichts der weltweit zunehmenden Exposition von Mensch und Umwelt gegenüber HF-Strahlung, einschließlich neuartiger Formen von Strahlung aus der 5G-Telekommunikation, für die es keine angemessenen Studien über gesundheitliche Auswirkungen gibt.

**Stichworte:** Federal Communications Commission (FCC), Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP), Hochfrequenzstrahlung (HF-Strahlung), Expositionsgrenzen, Expositionsbewertung, gesundheitliche Auswirkungen von Strahlung, Reaktive Sauerstoffspezies (ROS), DNA-Schäden, 5G, Wissenschaftliche Integrität, Handy, Mobiltelefon

## Einleitung

Bei der Festlegung von Expositionsgrenzwerten für toxische oder krebserregende Stoffe setzen die Regulierungsbehörden im allgemeinen Standards, die Unsicherheiten bezüglich der Gesundheitsrisiken für die allgemeine Bevölkerung [1] und für anfällige Untergruppen wie z. B. Kinder [2] berücksichtigen. Dieser Ansatz wurde bei der Festlegung von Expo-

\*Korrespondenz: ron.melnick@gmail.com, Tucson, USA  
 Übersetzung: diagnose:funk e.V., es gilt der englische Originaltext.



© The Author(s) 2022. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

sitionsgrenzwerten für Hochfrequenzstrahlung (HF-Strahlung, Frequenzbereich 3 kHz bis 300 GHz) nicht in gleicher Weise angewandt. Außerdem sind die Annahmen, die den HF-Expositionsgrenzwerten zugrunde liegen, fehlerhaft, daher bieten die derzeit geltenden Grenzwerte keinen angemessenen Schutz für die Gesundheit von Mensch und Umwelt. Diese Thematik wird unter Annahme 9 ausführlicher erörtert.

Die Grenzwerte der FCC, Bundeskommunikationskommission in den USA (Federal Communications Commission) für die maximal zulässige Strahlenbelastung durch elektromagnetische Felder (EMF) [3] im Funkfrequenzbereich wurden im Jahr 1996 festgelegt [4] und enthalten derzeit viele Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) [5]. Von diesen Expositionsgrenzwerten wurde erwartet, dass sie die menschliche Gesundheit vor schädlichen Auswirkungen schützen, die durch kurzfristige (d.h. akute) Exposition gegenüber HF auftreten könnten; sie wurden von der FCC in den letzten 26 Jahren beibehalten. Die Expositionsgrenzwerte, die von der FCC 1996 festgelegt wurden, stützten sich auf Kriterien des National Council on Radiation Protection & Measurements (NCRP) [6] und des Institute of Electrical and Electronics Engineers (ANSI/IEEE) [7, 8]. Die Grenzwerte "basieren auf der Festlegung, dass potenziell schädliche biologische Wirkungen bei einem SAR-Wert (spezifische Absorptionsrate) von 4,0 W/kg, gemittelt über den gesamten Körper, auftreten können." Die SAR ist ein Maß für die Rate der absorbierten HF-Energie pro Masseneinheit (kg).

Als Schwellenwert für eine Verhaltensreaktion und für akute thermische Schäden in empfindlicheren Geweben wurde eine Exposition in Erwägung gezogen, die einen Ganzkörper-SAR-Wert von 4 W/kg übersteigt. Parallel zur Entwicklung der FCC-Grenzwerte für die Exposition mit Hochfrequenzstrahlung basierten die ICNIRP-Richtlinien zur Begrenzung der Exposition gegenüber HF-EMF auch auf Verhaltensstudien, die in den 1980er Jahren an Ratten und Affen durchgeführt wurden [9].

Die schädlichen Wirkungen, die als Grundlage für die Expositionskriterien dienen, waren Verhaltensänderungen, die bei einer kleinen Anzahl von Ratten und Affen beobachtet wurden, wenn sie bis zu 60 Minuten lang Hochfrequenzstrahlung mit Leistungsflussdichten ausgesetzt waren, bei denen der Ganzkörper-SAR-Wert etwa bei 4 W/kg oder höher lag [10, 11]. Diese Studien wurden in den frühen 1980er Jahren (1980 bzw. 1984) von Forschern der US-Marine-Abteilung durchgeführt. Folglich wurden 4 W/kg als Schwellenwert für gesundheitsschädliche Wirkungen durch Hochfrequenzstrahlung festgelegt. Bei Affen, die unter Nahrungsentzug mit drei verschiedenen Frequenzen (225 MHz, 1,3 GHz und 5,8 GHz) während 60-minütiger Sitzungen exponiert wurden, waren die Reaktionsraten beim Drücken des Hebels für die Abgabe von Futter-Pellets reduziert, im Vergleich zu Schein-Expositionssitzungen. Der Schwellenwert SAR für diese verminderte Reaktion lag Berichten zufolge im Bereich von 3,2 bis 8,4 W/kg [11]. In ähnlicher Weise wurde

von Ratten mit Nahrungsentzug, die in 40-minütigen Sitzungen bei einer Strahlung von 1,28 oder 5,62 GHz ausgesetzt waren, berichtet, dass der SAR-Schwellenwert für eine Abnahme der Reaktionsrate in einem Bereich von etwa 3,8 bis 4,9 W/kg [10] lag. In experimentellen Studien, in denen Affen in einer schalltoten Kammer 4 Stunden lang einer 1,29 GHz Strahlung bei verschiedenen Leistungsflussdichten ausgesetzt waren, wurde ein Anstieg der Körpertemperatur von 0,7 °C mit einem Ganzkörper SAR-Wert von 4 W/kg in Zusammenhang gebracht [12]. Verhaltensstörungen, verbunden mit einer Erhöhung der Körpertemperatur um etwa 1,0 °C, wurden als das empfindlichste Maß für schädliche Wirkungen der HF-EMF-Exposition angenommen.

Nach der Festlegung von 4 W/kg als Schwellendosis für akute schädliche Wirkungen haben sowohl die FCC [3, 4] als auch die ICNIRP [5, 9] Expositionsgrenzwerte für kontrollierte berufliche Exposition auf 0,4 W/kg SAR festgelegt, gemittelt über den ganzen Körper (basierend auf der Anwendung eines 10-fachen Sicherheits-/Ungewissheitsfaktors). Für die Allgemeinbevölkerung wurden die Expositionsgrenzwerte der FCC und der ICNIRP auf 0,08 W/kg SAR, gemittelt über den ganzen Körper (unter Anwendung eines zusätzlichen 5-fachen Sicherheits- bzw. Unsicherheitsfaktors) für Frequenzen zwischen 3 MHz und 3 GHz festgelegt. Die von der FCC und der ICNIRP festgelegten Expositionsgrenzwerte berücksichtigen nicht die Auswirkungen unterschiedlicher Signaleigenschaften wie Trägerwellenmodulationen oder das Pulsieren des Signals. Ganzkörperexpositionen für die allgemeine Bevölkerung basieren einfach auf den Leistungswerten, die über einen Zeitraum von 30 Minuten gemittelt wurden [3, 5].

Auf der Grundlage von SAR-Verteilungen aus Ganzkörper-Expositionen, bei denen die lokalen (d. h. Teilkörper-) SAR-Werte auf das 10- bis 20-fache des Durchschnittswerts geschätzt wurden, wurden lokale Expositionsgrenzwerte festgelegt, die 20-mal höher als der durchschnittliche Ganzkörper-Expositionsgrenzwert waren [4-7]. Für berufliche Expositionen erlaubten FCC bzw. ICNIRP lokale Spitzenbelastungsgrenzwerte von bis zu 8 W/kg, gemittelt über einen beliebigen 1g-Gewebewürfel [4] oder 10 W/kg, gemittelt über 10 g zusammenhängendes Gewebe [9]. Für die Allgemeinbevölkerung sollten die lokalen Spitzen-SAR-Werte für Teilkörperexpositionen nicht mehr als 1,6 W/kg betragen, gemittelt über 1 g würfelförmiges Gewebe [3] bzw. 2,0 W/kg, gemittelt über 10g würfelförmiges Gewebe [5]. Höhere Grenzwerte sind für Extremitäten zulässig. Zu den Extremitäten gehören die Hände, Handgelenke, Füße, Knöchel und Ohrmuscheln (der äußere Teil des Ohrs), trotz der Nähe des Ohrs zum Gehirn. Diese Anpassungen wurden lange vor dem weit verbreiteten Gebrauch von drahtlosen Kommunikationsgeräten vorgenommen, bei denen die Sendeantenne in der Regel in der Nähe von lokalen Körperorganen wie dem Gehirn gehalten wird. Das NCRP-Dokument [6] räumt ein, dass die Exposition höher sein könnte als die empfohlenen Sicherheitsgrenzwerte, wenn sich Menschen in unmittelbarer Nähe von Sendern von Hochfrequenzstrahlung befinden.

**A) Auswirkungen von HF-Strahlung bei Expositionen unterhalb des vermeintlichen Schwellenwerts SAR von 4 W/kg:**

**Annahme 1)** Es gibt einen Expositionsschwellenwert für jegliche gesundheitliche Beeinträchtigung durch Hochfrequenzstrahlung: im Frequenzbereich von 100 kHz bis 6 GHz ist es eine Ganzkörperexposition, die einen SAR-Wert von 4 W/kg überschreitet. Jede biologische Wirkung von HF-Strahlung oberhalb des Schwellenwerts ist auf die Gewebeerwärmung zurückzuführen.

**Annahme 2)** HF-Strahlung ist nicht in der Lage, andere DNA-Schäden zu verursachen als die durch Erhitzung; es gibt keinen Wirkmechanismus für nicht-thermische DNA-Schäden.

**Annahme 3)** Zwei bis sieben Expositionen gegenüber HF-Strahlung von bis zu einer Stunde Dauer sind ausreichend, um schädliche Auswirkungen für jede Expositionsdauer, einschließlich chronischer Expositionen auszuschließen.

**Annahme 4)** Bei gleichzeitiger Exposition gegenüber anderen Umwelteinflüssen treten keine zusätzlichen Auswirkungen von HF-Strahlung auf.

**B) Faktoren, die die Dosimetrie beeinflussen:**

**Annahme 5)** Die gesundheitlichen Auswirkungen hängen ausschließlich von dem SAR-Wert ab: Trägerwellenmodulationen, Frequenz oder Pulsung spielen keine Rolle, es sei denn, sie beeinflussen den SAR-Wert.

**C) Gehirntumorrisiko beim Menschen:**

**Annahme 6)** Die zahlreichen Humanstudien, die einen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber HF-Strahlung von Mobiltelefonen und dem Anstieg des Risikos für Hirntumore feststellen, sind zum einen aufgrund von Verzerrungen in den veröffentlichten Fall-Kontroll-Studien fehlerhaft und zum anderen sind sie fehlerhaft, weil die Hirntumorraten seit der Verbreitung drahtloser Kommunikationsgeräte konstant geblieben sind.

**D) Individuelle Unterschiede in der Exposition und Empfindlichkeit gegenüber Hochfrequenz-EMF:**

**Annahme 7)** Zwischen Individuen, einschließlich Kindern, gibt es keine Unterschiede in der Absorption von Hochfrequenz-EMF und der Anfälligkeit für diese Strahlung.

**Annahme 8)** Es gibt keine individuellen Unterschiede in der Empfindlichkeit gegenüber HF-Strahlung, die zu gesundheitlichen Auswirkungen führt.

**E) Angewandte Sicherheitsfaktoren für Arbeitnehmer, die beruflich mit/in elektromagnetischen Feldern arbeiten und für die allgemeine Bevölkerung:**

**Annahme 9)** Ein 50-facher Sicherheitsfaktor für die Ganzkörperexposition mit HF-Strahlung ist angemessen für den Schutz der Allgemeinbevölkerung vor gesundheitlichen Risiken durch HF-Strahlung.

**Annahme 10)** Ein 10-facher Sicherheitsfaktor für die Ganzkörperexposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung ist ausreichend für den Schutz der Arbeitnehmer vor Gesundheitsrisiken durch HF-Strahlung.

**Annahme 11)** Die Exposition von jedem Gramm würfelförmigen Gewebes mit bis zu 1,6 W/kg oder 10 Gramm würfelförmigen Gewebes mit bis zu 2 W/kg (Dauer nicht angegeben) erhöht nicht das Risiko dieses Gewebes für toxische oder karzinogene Wirkungen bei der allgemeinen Bevölkerung.

**Annahme 12)** Die Exposition eines beliebigen Gramms würfelförmigen Gewebes mit bis zu 8 W/kg oder 10 Gramm würfelförmigen Gewebes mit bis zu 10 W/kg (Dauer nicht angegeben) erhöht nicht das Risiko dieses Gewebes auf toxische oder karzinogene Wirkungen bei Arbeitnehmern.

**F) Umweltexposition durch HF-Strahlung:**

**Annahme 13)** Es gibt keine Bedenken hinsichtlich der Auswirkungen von HF-Strahlung auf die Umwelt oder auf wild lebende Tiere oder Haustiere.

**G) 5G (Fünfte Generation der drahtlosen Kommunikation):**

**Annahme 14)** Es werden keine Daten über gesundheitliche Auswirkungen für Exposition gegenüber 5G benötigt; es wird von Unbedenklichkeit ausgegangen, da das Eindringen auf die Haut beschränkt ist ("minimale Körpereindringung").

**Abb. 1** Diese Annahmen liegen den FCC/ICNIRP-Grenzwerten für die Hochfrequenz-Exposition zugrunde

Die Festlegung von Expositionsgrenzwerten zur Vermeidung von übermäßiger Gewebeerwärmung basierte auf den folgenden Annahmen: 1) Elektromagnetische Wellen mit Frequenzen, die in der drahtlosen Kommunikation verwendet werden, haben nicht die Energie, um chemische Bindungen zu brechen oder Moleküle zu ionisieren [13]; 2) Hochfrequenzstrahlung kann die DNA nicht schädigen und 3) die Gewebeerwärmung ist die einzig mögliche biologische Wirkung nicht-ionisierender Strahlung [5, 9, 14-16]. Potenzielle Probleme für die Umwelt und die menschliche Gesundheit wurden bei der Festlegung von Expositionsgrenzwerten nicht berücksichtigt (z. B. Auswirkungen von chronischen Expositionen oder Auswirkungen der gleichzeitigen Exposition der Haut gegenüber HF und anderen Umwelteinflüssen, wie bei 5G-Exposition in Kombination mit Sonnenlicht). Es wird implizit angenommen, dass solche Wirkungen keine Rolle spielen oder dass der willkürlich gewählte Sicherheits-

Unsicherheitsfaktor ausreicht, um diese Bedenken auszuräumen. In jedem Fall wird erwartet, dass die zugrundeliegenden Annahmen bei der Anwendung auf die Bewertung von Gesundheitsrisiken klar beschrieben seien [1].

Die Expositionsgrenzwerte für HF-Strahlung beruhen auf zahlreichen Annahmen; allerdings zeigen die Forschungsstudien der letzten 25 Jahre, dass die meisten dieser Annahmen nicht durch wissenschaftliche Erkenntnisse gestützt werden. Im NCRP-Bericht [6] stellen die Autoren fest, dass wenn weiteres Verständnis der biologischen Wirkungen von HF-Strahlung zur Verfügung steht, die Expositionsrichtlinien bewertet und möglicherweise überarbeitet werden müssen. Das ANSI/IEEE-Dokument [7] stellt ebenfalls fest, dass die Auswirkungen einer chronischen Exposition oder Hinweise auf nicht-thermische Wechselwirkungen zu einer Überarbeitung der Expositionsstandards führen könnten. Leider wur-

den diese Empfehlungen nie umgesetzt. Annahmen zur Sicherheit vor Expositionen, die nachteilig die menschliche oder Umweltgesundheit beeinträchtigen könnten, sollten getestet und validiert werden, *bevor* es zu weitreichenden Expositionen kommt, und nicht danach, und zwar von Behörden, die für den Schutz der öffentlichen Gesundheit verantwortlich sind.

In diesem Beitrag heben wir Studien hervor, die die Unrichtigkeit der inhärenten Annahmen in den FCC/ICNIRP Richtlinien für Grenzwerte für HF-Strahlung aufzeigen, und wir stellen fest, dass die Grenzwerte die Gesundheit von Menschen und Umwelt nicht schützen. Vierzehn Annahmen, die den Grenzwerten für Hochfrequenzstrahlung zugrunde liegen, die in den 1990er Jahren festgelegt und 2020 von der FCC [4, 5] und der ICNIRP [5, 9] bestätigt wurden, werden in dieser Stellungnahme behandelt und sind in Abb. 1 dargestellt.

**Vergleicht man die den Expositionsgrenzwerten zugrunde liegenden Annahmen für HF-Strahlung mit den wissenschaftlichen Beweisen, zeigt sich, dass diese Annahmen nicht richtig sind.**

#### **A. Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung bei Expositionen unterhalb des vermeintlichen Schwellenwert SAR von 4 W/kg**

***Annahme 1)** Es gibt eine Schwellenwert-Exposition für jegliche schädliche Gesundheitsauswirkung durch HF-Strahlung; im Frequenzbereich von 100 kHz bis 6 GHz handelt es sich um eine Ganzkörperexposition, die einen SAR-Wert von 4 W/kg überschreitet. Jede biologische Wirkung von HF-Strahlung oberhalb des Expositionsschwellenwertes ist auf die Erwärmung des Gewebes zurückzuführen.*

#### **Kardiomyopathie und Karzinogenität**

Auf Anfrage des Center for Devices and Radiological Health der Food and Drug Administration (FDA) [17] führte das National Toxicology Program (NTP) Studien zur Toxizität und Karzinogenität von Hochfrequenzstrahlung (CDMA- oder GSM-moduliert) an Ratten und Mäusen durch, die Hochfrequenzstrahlung mit Frequenzen von 900 MHz bzw. 1800 MHz ausgesetzt wurden [18, 19]. Die Exposition mit Hochfrequenzstrahlung erfolgte bis zu 2 Jahre lang in Nachhallräumen über 18 Stunden/Tag in einem kontinuierlichen Zyklus von 10 Minuten an und 10 Minuten Pause. Bei Ratten lagen die Ganzkörper-SAR-Werte während der 10-minütigen Einschaltzyklen bei 0, 1,5, 3 oder 6 W/kg.

Die wichtigsten histopathologischen Befunde aus der NTP Studie an männlichen Ratten [18] umfassten dosisabhängige Kardiomyopathie, erhöhtes Auftreten von Krebserkrankungen und präneoplastischen Läsionen im Herzen (Schwannom und Schwann-Zell-Hyperplasie) sowie im Gehirn (Gliom und Gliazellhyperplasie), Zunahme von Prostatatumoren und

-Hyperplasien, signifikante Zunahmen bei Nebennierentumoren und eine signifikante Zunahme der Gesamtinzidenz gutartiger oder bösartiger Neoplasmen in allen Organen in den 3 W/kg-Gruppen. Das Auftreten von Kardiomyopathie war bei GSM-exponierten weiblichen Ratten ebenfalls erhöht, und signifikant erhöhte DNA-Schäden wurden bei Ratten und Mäusen festgestellt [18, 19]. In ähnlicher Weise wurde in einer früheren Studie von Chou et al. [20] ein signifikanter (3,6-facher) Anstieg der Inzidenz von primären malignen Neoplasmen bei männlichen Ratten festgestellt, die 25 Monate lang (21,5 Std./Tag) einer gepulsten Hochfrequenzstrahlung von 2450 MHz und einem SAR-Wert zwischen 0,15 und 0,4 W/kg ausgesetzt waren.

Ein dreitägiges externes Peer-Review der NTP-Studien bestätigte, dass es "klare Beweise für eine karzinogene Aktivität" bei männlichen Ratten für Herzschwannome gibt und "einige Hinweise auf krebserregende Wirkung" für Hirngliome und Nebennierentumore bei Exposition mit GSM- oder CDMA-modulierter HF-Strahlung [21]. Darüber hinaus berichtet eine Lebenszeitstudie des Ramazzini-Instituts von einer signifikanten Zunahme von Herzschwannomen bei männlichen Ratten, die 19 Stunden/Tag 1800 MHz GSM-modulierter HF bei einer Feldstärke von 50 V/m ausgesetzt waren, was einer Ganzkörper-SAR von 0,1 W/kg entspricht [22]. Das Auftreten von Schwann-Zell-Hyperplasie im Herzen war in dieser Expositionsgruppe ebenfalls erhöht. Diese Befunde stimmen mit denen der NTP-Studie überein und zeigen, dass die stark zunehmende Wirkung von modulierter HF in den Herz-Schwann-Zellen ein reproduzierbarer Befund ist, der bei Dosen auftreten kann, die weit unter dem angenommenen Ganzkörper-Schwellenwert SAR von 4 W/kg liegen.

Die ICNIRP lehnte die von den Studien des NTP [18] und des Ramazzini-Instituts [22] erbrachten Beweise der Karzinogenität für HF ab [23] und bezog sich dabei auf ihre frühere Kritik an diesen Studien [24]. Allerdings zeigte diese Kritik jedoch einen bedauerlichen Mangel an Verständnis verbunden mit einer falschen Darstellung des Designs, der Durchführung und Interpretation von experimentellen Karzinogenitätsstudien in Tiermodellen [25], sowie eine mangelnde Wertschätzung für die bemerkenswerte Übereinstimmung zwischen den bei Tierversuchen beobachteten Tumorreaktionen mit denen, die in epidemiologischen Krebsstudien von Mobiltelefonnutzern beschrieben wurden. Dies wird in Annahme 6 beschrieben.

Weder Erhitzungseffekte noch thermischer Stress waren wahrscheinlich kausal für die in der NTP-Studie beobachteten gesundheitsschädlichen Wirkungen verantwortlich [18], da in einer 28-Tage-Studie bei denselben SAR-Werten keine Gewebeschäden beobachtet wurden, keine signifikante Auswirkung auf das Körpergewicht während der 2-Jahresstudie auftrat und es keine expositionsbedingten klinischen Beobachtungen gab, die auf thermischen oder metabolischen Stress hinweisen. Darüber hinaus zeigte eine vorläufige thermische Pilotstudie, dass die Körpertemperaturen nicht um mehr als 1 °C bei den in den chronischen Studien verwendeten Expositionsniveaus anstiegen [26]; es gibt keine Hinwei-

se darauf, dass die in der NTP-Studie beobachteten Arten von karzinogenen Wirkungen durch eine geringe Veränderung der Körpertemperatur aufgrund der HF-Expositionen hätten verursacht werden können. Die ähnlichen Ergebnisse von GSM- modulierter Hochfrequenzstrahlung auf Schwann-Zellen durch das Ramazzini-Institut [22] bei viel niedrigeren Ganzkörper SAR-Werten bestätigen, dass diese Wirkungen unabhängig von der Erwärmung des Gewebes sind.

### Neurologische Wirkungen

Obwohl die Grenzwerte von FCC- und ICNIRP auf einer mutmaßlichen Schwellendosis von 4 W/kg aufgrund von Verhaltensstörungen basieren, die bei höheren Dosen bei Ratten und Affen beobachtet wurden [10, 11], haben bei Labortieren, die HF-Strahlung mit SAR-Werten unter 4 W/kg ausgesetzt waren, zahlreiche Studien übereinstimmende und reproduzierbare Defizite im räumlichen Lernen und Gedächtnis gezeigt. Beispiele für Studienexpositionen, die diese neurologischen Wirkungen zeigten, waren 900 MHz GSM bei 0,41-0,98 W/kg, 2 Std./Tag für 4 Tage bei Mäusen [27]; 900 MHz GSM bei 0,52-1,08 W/kg, 2 Std./Tag für 1 Monat bei Ratten [28]; 900 MHz GSM bei 1,15 W/kg, 1 Std./Tag für 28 Tage bei Ratten [29]; 900 MHz gepulster HF bei 0,3-0,9 W/kg für 6 Std./Tag bei Ratten von der Empfängnis bis zur Geburt und getestet im Alter von 30 Tagen [30]; 900 MHz GSM und 1966 MHz UMTS bei 0,4 W/kg für 6 Monate bei Ratten [31]; und 900 MHz kontinuierliche (d.h. un gepulste) EMF-Welle bei 0,016 W/kg, 3 Std./Tag für 28 Tage bei Ratten [32]. Die oben zitierten Studien sind nicht die einzigen Studien, die diese Wirkungen zeigen, aber sie belegen eindeutig, dass die Exposition mit Hochfrequenzstrahlung bei einem SAR-Wert von 4 W/kg keine Schwellendosis für neurologische Wirkungen bei Nagetieren ist. Die Auswirkungen von HF-Strahlung auf räumliches Lernen und das Gedächtnis deuten auf den Hippocampus als einen Zielort dieser Expositionen hin. Für eine vollständigere Auflistung der neurologischen Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung, über die zwischen 2007 und 2017 berichtet wurde, siehe Lai [33].

Darüber hinaus haben viele Studien über Veränderungen der elektrischen Aktivitäten des Gehirns bei menschlichen Probanden berichtet, gemessen durch Elektroenzephalographie (EEG), einschließlich Schlafstörungen nach einmaliger Exposition gegenüber HF-Strahlung von Mobiltelefonen. Dies ist nicht überraschend, da das Nervensystem Nachrichten auf der Grundlage von elektrischen Signalen überträgt, die von Nervenzellen erzeugt werden. Bei jungen Erwachsenen mit einer hohen Stundenanzahl der Handy-Nutzung wurde vermindertes  $\beta$ -Spurenprotein festgestellt, welches ein Schlüsselenzym bei der Synthese eines schlaffördernden Neurohormons ist [34].

Ein weiterer häufiger Effekt von Hochfrequenzstrahlung ist z.B. die erhöhte Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke bei Ratten mit SAR-Werten von viel weniger als 4 W/kg, [32, 35-41]. Im Gehirn von HF-EMF ausgesetzten Tieren wurde oxidativer Stress induziert, dies wurde mit beobachteten neurologischen Effekten in Verbindung gebracht [42]. Obwohl bei vielen Studien keine signifikanten Veränderungen der neu-

rologischen Wirkungen beim Menschen und in mehreren Studien keine erhöhte Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke in Tiermodellen [33] beobachtet wurden, können wahrscheinliche Unterschiede erklärt werden in den beobachteten Wirkungen der EMF-Frequenz, Modulation, Dauer der Exposition und Richtung der einfallenden Wellen auf die exponierte Person, sowie Unterschiede in den dielektrischen Eigenschaften und der Größe und Form des exponierten Subjekts [43, 44].

### Schädigung der Spermien

Die Wirkung von nicht-ionisierender Mikrowellen-Strahlung auf die Hoden (Hodendegeneration bei Mäusen) wurde erstmals vor 60 Jahren berichtet [45]. Seitdem und seit der raschen Zunahme der Nutzung von HF-EMF emittierenden Geräten haben zahlreiche Studien die Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung auf die Hoden und einen möglichen Zusammenhang mit männlicher Unfruchtbarkeit untersucht [46-50]. Studien an Menschen und Tieren haben gezeigt, dass die Hoden zu den empfindlichsten Organen gegenüber HF-EMF-Expositionen gehören, und dass das Tragen eines Mobiltelefons in der Hosentasche im Bereitschaftsmodus die Fruchtbarkeitsparameter beeinflussen kann, z. B. die Spermien-Motilität (Spermienbeweglichkeit), Spermienzahl, Spermienmorphologie und Apoptose [48, 51]. Meta-Analysen von veröffentlichten epidemiologischen Studien über Auswirkungen von Mobilfunkstrahlung auf die Spermienqualität bei erwachsenen Männern fanden eine signifikante Abnahme der Spermien-Motilität, Spermienlebensfähigkeit und/oder Spermienkonzentration, die mit der Nutzung von Mobiltelefonen in Verbindung gebracht wurden [52-55]. Mehrere physikalische Faktoren, die mit den Expositionsbedingungen zusammenhängen, können das Ergebnis von Humanstudien beeinflussen, darunter die Eindringtiefe der Energie, die Dauer des Gesprächs, die Art der Übertragungstechnologie, die Distanz des Geräts zum Körper oder Hoden, sowie die Leistungsflussdichte mit definiertem SAR-Wert. Zilberlicht et al. [56] beobachteten beispielsweise höhere Raten von abnormen Spermienkonzentrationen bei Männern, die ihr Handy weniger als 50 cm von der Leiste entfernt hielten.

Die Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung auf reproduktive Parameter beim Menschen stimmen mit den Ergebnissen aus experimentellen Tierversuchen und in-vitro-Studien überein. Zum Beispiel führte die Exposition von menschlichem Sperma gegenüber 850 MHz-Strahlung von Mobiltelefonen für 1 Stunde bei einem SAR-Wert von 1,46 W/kg zu einer signifikanten Abnahme der Lebensfähigkeit der Spermien, was mit einem Anstieg reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) [50] oder einer Zunahme der Fragmentierung der Spermien-DNA [57] verbunden war. Die Exposition isolierter menschlicher Spermatozoen bei 1,8 GHz HF-EMF reduzierte signifikant die Spermien-Motilität, induzierte die ROS-Bildung bei einem SAR-Wert von 1,0 W/kg und erhöhte signifikant oxidative DNA-Schäden sowie DNA-Fragmentierung bei einem SAR-Wert von 2,8 W/kg [58].

Einige Beispiele für Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung auf männliche Fruchtbarkeitsfaktoren in Studien mit

Versuchstieren bei SAR-Werten unter 4 W/kg beinhalten Folgendes: eine Abnahme der Spermienzahl und ein Anstieg von ROS bei Ratten, die 2 Std./Tag bei Mobiltelefonfrequenzen, 35 Tage lang (SAR = 0,9 W/kg) exponiert waren [59]; Anstieg von oxidativem Stress, 8-Hydroxy-Desoxyguanosin (8-OHdG) und DNA-Strangbrüchen in den Hoden von Ratten, exponiert bei 900 MHz (SAR = 0,166 W/kg), 1800 MHz (0,166 W/kg), oder 2100 MHz (0,174 W/kg) 2 Std./Tag für 6 Monate [60]; ein Anstieg der ROS, eine Abnahme der Spermienzahl und eine veränderte Spermien-Morphologie bei Ratten, die bei 900 MHz 3G-Mobilfunk Handy-Strahlung (SAR = 0,26 W/kg) 2 Std./Tag für 45 Tage exponiert waren [61]; verminderte Spermien-Qualität bei Ratten, bei einer lokalen Exposition des Hodensacks bei 2575-2635 MHz 4G Smartphone LTE-Strahlung für 1 Minute in 10-minütigen Intervallen 6 Std./Tag für 150 Tage [62]; beeinträchtigte Hodenentwicklung im Alter von 35 Tagen bei männlichen Nachkommen von Ratten, die 2,45 GHz Funkstrahlung (SAR = 1,75 W/kg) 2 Std./Tag während der gesamten Trächtigkeit ausgesetzt waren [63]; verringerte Spermien-Motilität bei Mäusen bei 905 MHz Funkstrahlung (SAR = 2,2 W/kg) 12 Std./Tag für 5 Wochen und erhöhte ROS-Bildung und DNA-Fragmentierung nach 1 Woche Exposition [64]. Obwohl auch über negative Studien berichtet wurde, ist es wichtig zu bedenken, dass das Ergebnis experimenteller Studien durch Unterschiede in den Expositionsbedingungen beeinflusst werden kann, einschließlich der Frequenz, Modulation, Polarisation, elektromagnetischer Streufelder, lokaler SAR, der Dauer der Exposition und der Analysemethoden [43, 44].

Obwohl der Mechanismus der Wirkungen auf Hoden durch Exposition mit nicht-thermischen Hochfrequenz-Strahlungswerten nicht vollständig bekannt ist, haben zahlreiche Studien an Ratten und Mäusen sowie an menschlichen Spermien Zusammenhänge zwischen negativen Auswirkungen auf Fruchtbarkeitsparameter und Erhöhungen von ROS und/oder DNA Schäden festgestellt [48, 51, 57, 58, 60, 61, 64-68]. Daher sind die nachteiligen Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung auf die Spermienqualität wahrscheinlich zu einem großen Teil auf die induzierte Erzeugung von ROS zurückzuführen.

**Annahme 2) *Nur durch Erhitzen ist HF-Strahlung in der Lage, DNA-Schäden zu verursachen; es gibt keinen Mechanismus für nicht-thermische DNA-Schäden.***

Im Jahr 2009 behauptete die ICNIRP [16], dass "niederenergetische Photonen von HF-Strahlung zu schwach sind, um unter normalen Umständen Ionisation zu bewirken oder biologische Moleküle wie die DNA signifikant zu schädigen."

Allerdings wurden DNA-Schäden und andere genotoxische Wirkungen in zahlreichen Studien über Hochfrequenzstrahlung niedriger Intensität in Tiermodellen und beim Menschen beobachtet. Die NTP-Studie zum Beispiel fand statistisch signifikant erhöhte DNA-Schäden in Gehirnzellen von exponierten Ratten und Mäusen im Vergleich zu Scheinkontrollen [18, 19, 69], und Akdag et al. [70] fanden statistisch

signifikante Erhöhungen der DNA-Schäden in Haarzellen im Gehörgang bei 30 bis 60 Jahre alten Männern, die Mobiltelefone 10 Jahre lang 0-30 Minuten/Tag, 30-60 Minuten/Tag oder mehr als 60 Min./Tag nutzten, im Vergleich zu Personen, die keine Mobiltelefone nutzten. In der letztgenannten Studie stieg das Ausmaß der DNA-Schäden mit zunehmender täglicher Expositionsdauer an. In einer Übersicht über veröffentlichte Studien zu genetischen Auswirkungen von ELF (extrem niederfrequente Felder) und HF-EMF führte Lai [71] mehr als 150 Studien an, in denen nicht-thermische Expositionen gegenüber Hochfrequenzstrahlung zu einer Zunahme von DNA-Schäden, Chromosomenaberrationen oder Bildung von Mikronuklei führten.

Darüber hinaus ist gut belegt, dass DNA-Schäden auch durch indirekte Prozesse verursacht werden können, wie zum Beispiel durch die Generierung von reaktiven Sauerstoffradikalen (ROS); zahlreiche Studien haben DNA-Schäden bei Expositionen unterhalb des vermeintlichen Schwellenwerts von 4 W/kg nachgewiesen. Mehr als 120 veröffentlichte Studien haben oxidative Effekte im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung niedriger Intensität gezeigt (zusätzliche Datei 1: Anhang 1). Eine Analyse der experimentellen Studien zu molekularen Wirkungen von schwacher HF-Strahlung in biologischen Systemen ergab, dass die Mehrheit (93 von 100 Studien) die Induktion von oxidativen Wirkungen zeigte [72]. Neuere Studien (von 2017) zeigten, dass alle 30 relevanten Publikationen (100 %) signifikante oxidative Auswirkungen bei Expositionen von Hochfrequenzstrahlung niedriger Intensität feststellten, und die meisten dieser Studien verwendeten modulierte Hochfrequenzstrahlung von drahtlosen Kommunikationsgeräten.

Eine erhöhte Produktion von ROS in lebenden Zellen kann durch schwache Magnetfelder verursacht werden; sie verändern die Rekombinationsraten von kurzlebigen Radikalpaaren, welche durch normale Stoffwechselprozesse erzeugt werden, was zu Veränderungen der Konzentrationen freier Radikale führt [73], oder die erhöhte ROS-Produktion wird durch extrem niederfrequente EMF (ELF) erzeugt, die zu Veränderungen in spannungsgesteuerten Ionenkanälen in Zellmembranen führen, die den Kationenfluss durch die Membranen verändern [74]. Diese Mechanismen gelten sowohl für ELF-EMF als auch für Hochfrequenzstrahlung, deren gepulste Felder bei extrem niedrigen Pulsfrequenzen moduliert werden. Andere biophysikalische Mechanismen wurden beschrieben, bei denen durch Interaktionen mit normalen zellulären Prozessen [75] nicht-thermische HF-EMF biologische Wirkungen verursachen können [75].

Die Erhöhung der NADH-Oxidase-Aktivität ist ein weiterer Mechanismus, durch den Hochfrequenzstrahlung die ROS-Produktion erhöhen kann. NADH-Oxidasen, die membranasoziierte Enzyme sind, die die Ein-Elektronen-Reduktion von Sauerstoff zu Superoxidradikalen katalysieren und dabei NADH als Elektronenspender verwenden, wurden als primäre Vermittler von HF-Interaktionen in zellulären Systemen identifiziert [76]. Ein signifikanter (3-facher) Anstieg der Akti-

vität der NADH-Oxidase wurde in gereinigten Plasmamembranen von HeLa-Zellen gemessen, die bei 875 MHz für 5 oder 10 Minuten einer Leistungsflussdichte von 200  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  ausgesetzt waren. Diese Expositionsintensität ist deutlich niedriger als der ICNIRP [5] Grenzwert.

Die Hauptquelle für ROS in lebenden Zellen ist die mitochondriale Elektronentransportkette, wo durch Elektronenverluste Superoxidradikale aufgrund der teilweisen Reduktion von Sauerstoff entstehen [77]. Eine dosisabhängige Wirkung von 1,8 GHz modulierter Exposition mit Hochfrequenzstrahlung (SAR = 0,15 und 1,5 W/kg) auf die mitochondriale ROS-Produktion wurde in spermatogonialen Keimzellen der Maus nachgewiesen [65]. Die Exposition von Wachtel-Embryonen mit modulierter Hochfrequenzstrahlung extrem niedriger Intensität (GSM 900 oder 1800 MHz, 0,25 oder 0,32  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) führte während der ersten Tage der Embryogenese zu einer starken Überproduktion von Superoxid-Radikalen und Stickoxiden in den Mitochondrien der embryonalen Zellen [78, 79]. Somit sind mehrere Mechanismen für die erhöhte Produktion von ROS durch schwache HF-Strahlung nachgewiesen worden.

Zahlreiche Studien wurden zu mutagenen Effekten von HF-EMF mit niedriger Intensität veröffentlicht, insbesondere Studien, die einen Anstieg der Werte eines spezifischen Markers für oxidative DNA-Schäden und eines Risikofaktors für Krebs, 8-Hydroxy-2'-Desoxyguanosin (8-OHdG) feststellten [58, 60, 78-84]. Beispielsweise war der 8-OHdG-Gehalt in menschlichen Spermatozoen signifikant erhöht, nachdem sie in vitro 16 Stunden lang bei 1,8 GHz und einer Leistung von 2,8 W/kg exponiert waren; dies korrelierte mit der Höhe der ROS-Erzeugung [58]. Ebenso reichte die Exposition von Wachtel-Embryonen in ovo (im Ei) bei GSM-modulierten 900 MHz mit 0,25  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  für 1,5, 5 oder 10 Tage aus, um einen signifikanten Anstieg der 8-OHdG-Konzentration in embryonalen Zellen um das Zwei- bis Dreifache zu erzeugen [79]. Nabelschnurblut und Plazenta-Gewebeproben von frisch entbundenen Frauen, die während der Schwangerschaft Mobiltelefone benutzt hatten, wiesen signifikant höhere Werte an oxidativen Stressparametern auf, einschließlich 8-OHdG und Malondialdehyd, verglichen mit Nabelschnurblut und Plazentagewebe von Frauen, die während der Schwangerschaft keine Mobiltelefone benutzt hatten [85]. Darüber hinaus waren DNA-Schäden, die mit dem Comet-Assay (eine Technik, die DNA-Schädigungen der Zellen feststellen kann) analysiert wurden, signifikant erhöht in Lymphozyten aus Nabelschnurblut von Frauen, die während der Schwangerschaft Mobiltelefone benutzt hatten, im Vergleich zu Nabelschnurblut-Lymphozyten von Frauen, die keine Mobiltelefone benutzt hatten.

Da die HF-Strahlung mit geringer Intensität nicht genügend Energie hat, um DNA-Moleküle zu ionisieren, und da eine erhöhte Produktion von ROS in lebenden Zellen aufgrund von HF-EMF-Expositionen zuverlässig dokumentiert wurde, ist die Bildung von oxidativen Schäden an der DNA eine indirekte Wirkung dieser Strahlung. Die aggressivste Form von ROS, die oxidative DNA-Schäden verursachen kann, ist

das Hydroxylradikal; diese reaktive Sauerstoffspezies kann aus Superoxid-Radikalen und Wasserstoffperoxid in lebenden Zellen gebildet werden [86], die HF-Strahlung niedriger Intensität ausgesetzt sind. Ultraviolette Strahlung (UVR, umfasst UVA, UVB und UVC), die von der IARC als "krebserregend" für den Menschen eingestuft wird, kann auch indirekt DNA-Schäden verursachen, indem sie ROS erzeugt [87]. Somit können sowohl Hochfrequenzstrahlung als auch UVR, die in ähnlicher Weise oxidative DNA-Schäden hervorrufen können, das Krebsrisiko durch einen ähnlichen Mechanismus erhöhen.

Erhöhte Produktion von ROS und Abbau der antioxidativen Kapazität in lebenden Zellen, die HF-Strahlung mit niedriger Intensität ausgesetzt sind, können zu oxidativen DNA-Schäden führen. Die Induktion von oxidativem Stress, der ein Hauptmerkmal von vielen Humankarzinogenen [88], einschließlich UVR und Asbest ist, kann auch zur Genotoxizität und Karzinogenität durch nicht-ionisierenden HF-Strahlung führen, ohne direkt DNA-Schäden zu verursachen.

**Annahme 3)** *Zwei bis sieben HF-Expositionen von bis zu 1 Stunde Dauer reichen aus, um schädliche Wirkungen für jede Expositionsdauer auszuschließen, dies gilt auch für chronische Expositionen.*

Die Verhaltensstudien an 8 männlichen Ratten und 5 männlichen Affen, die der FCC und ICNIRP als Grundlage für Expositionsgrenzen der HF-Strahlung dienten, umfassten 2 bis 7 Expositionssitzungen von 40 Minuten Dauer für Ratten [10] und 3 Expositionssitzungen von 60 Minuten Dauer für Affen bei allen Leistungsflussdichten [11]. Zusätzliche Unterstützung für den SAR-Schwellenwert von 4 W/kg im Frequenzbereich von 100 kHz bis 6 GHz stammt aus Verhaltensstudien, die an Ratten und Affen von D'Andrea et al. durchgeführt wurden [89, 90]. D'Andrea et al. [91, 92] berichteten jedoch auch, dass die Exposition von Ratten 14 oder 16 Wochen lang mit kontinuierlichen 2450 MHz HF signifikante Unterschiede verursachten in der Verhaltensaktivität zwischen schein-exponierten Ratten und HF-exponierten Ratten bei mittleren SAR-Werten von 0,7 W/kg und bei 1,23 W/kg, was darauf hindeutet, dass 4 W/kg kein Schwellenwert für die SAR bei längerer Expositionsdauer ist. Seitdem haben viele Studien gezeigt, dass die Reaktionen auf nicht-thermische Hochfrequenzstrahlung von Expositionsintensität und Expositionsdauer abhängen [93]. Wichtig ist, dass die gleiche Reaktion bei niedrigerer Expositionsintensität, aber verlängerter Expositionsdauer beobachtet wurde wie bei höherer Expositionsintensität und kürzerer Dauer [94].

Die FDA [17] hat erkannt, dass die Expositionsgrenzwerte mögliche gesundheitliche Auswirkungen von HF-Langzeitexpositionen von drahtlosen Geräten nicht berücksichtigen, und hat daher die Hochfrequenzstrahlung dem NTP für Studien zur chronischen Toxikologie und Karzinogenität vorge schlagen, aus Sorge, dass die bestehenden Expositionsrichtlinien nur auf dem Schutz vor akuten Verletzungen durch thermische Wirkungen der Hochfrequenzstrahlung basieren,

dass sie aber möglicherweise nicht vor nicht-thermischen Wirkungen chronischer Expositionen schützen". Die in Annahme 1 genannten schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit, einschließlich Kardiomyopathie, Karzinogenität, Spermenschäden und neurologische Wirkungen, sowie die epidemiologischen Studien am Menschen, die in Annahme 6 beschrieben werden, traten bei HF-Expositionen auf, die viel länger waren als die kurzen Expositionszeiträume der damaligen Studien an Ratten [10] und Affen [11].

Folglich sind Verhaltensstudien mit kurzfristiger Exposition, die als Grundlage für die Grenzwerte der HF-Strahlung dienen und von der FCC und der ICNIRP festgelegt wurden, unzureichend, um nachteilige Auswirkungen von HF-Strahlung nach längerer Expositionsdauer zu identifizieren und zu charakterisieren. Weder die Expositionsgrenzwerte, die in den 1990er Jahren von der FCC [4] oder von der ICNIRP [9] festgelegt wurden, noch die, die in jüngerer Zeit von diesen Gruppen [3, 5] bestätigt wurden, stehen im Zusammenhang mit Gesundheitsrisiken durch Langzeitexposition mit HF-Strahlung.

**Annahme 4)** *Es treten keine zusätzlichen Auswirkungen von HF-Strahlung bei gleichzeitiger Exposition gegenüber anderen Umwelteinflüssen auf.*

Die derzeitigen FCC/ICNIRP-Grenzwerte berücksichtigen die Wechselwirkungen von HF-Strahlung mit anderen Umwelteinflüssen nicht, obwohl solche Effekte dokumentiert worden sind. Wechselwirkungen von HF-Strahlung mit anderen Einwirkungen können zu antagonistischen oder synergistischen Wirkungen führen, d.h. zu Wirkungen, die größer sind als die Summe der Wirkungen jeder einzelnen Noxe.

In der Bewertung der Karzinogenität von HF-EMF stellte die Expertenarbeitsgruppe der International Agency for Research on Cancer (IARC) [44] fest, dass 4 von 6 der damals verfügbaren Studien zur Kokarzinogenese, die zu dieser Zeit verfügbar waren, erhöhte Reaktionen bei Exposition mit HF-EMF zeigten. Eine dieser Studien berichtete von kokarzinogenen Wirkungen von UMTS-modulierter HF-Strahlung bei 4,8 W/m<sup>2</sup> in Leber und Lunge von Mäusen, die mit dem Karzinogen Ethylnitrosoharnstoff (ENU) in Utero behandelt worden waren [95]; das Auftreten von Leber- und Lungenkrebs war bei Mäusen erhöht, die ENU plus HF-Strahlung ausgesetzt waren, im Vergleich zu Käfigkontrollen, Scheinkontrollen und ENU allein. Nach der IARC-Bewertung wiederholten Lerchl et al. [96] den Versuchsaufbau von Tillmann et al. [95], indem sie die Mäuse mit HF-EMF bei Ganzkörper-SAR-Werten von 0 (Schein), 0,04, 0,4 und 2 W/kg exponierten. Ein signifikanter Anstieg von Lungenadenomen und/oder Leberkarzinomen wurde bei allen Expositionsniveaus beobachtet. Lerchl et al. [96] schlossen, dass ihre "Ergebnisse ein sehr deutlicher Hinweis darauf sind, dass tumorfördernde Effekte bei lebenslanger HF-EMF-Exposition auftreten können bei Werten, die eigentlich zu niedrig sind, um thermische Effekte zu verursachen". Damit ist die Reproduzierbarkeit der tumorfördernden Wirkungen von Hochfrequenzstrahlung bei nicht-thermischen Expositionsniveaus nachgewiesen. Weite-

re Beispiele für berichtete synergistische Effekte sind die folgenden Studienergebnisse: Synergistische Wirkungen auf die Schädigung von menschlichen Lymphozyten wurden beobachtet bei gleichzeitiger Exposition mit Hochfrequenzstrahlung (1,8 GHz HF, SAR 3 W/kg) und 2 verschiedenen Mutagenen, nämlich Mitomycin C oder 4-Nitrochinolin-1-Oxid [97], oder bei gleichzeitiger Exposition mit ultraviolettem (UVC) Licht [98]. Ein synergistischer Effekt wurde bei DNA-Schäden in menschlichen Blutzellen gefunden, die einer 2450 MHz-Strahlung (5 mW/cm<sup>2</sup>) und anschließender Exposition mit Mitomycin C ausgesetzt waren [99]. Bei DNA-Schäden wurde ein Potenzierungseffekt in kultivierten Säugtierzellen beobachtet, die CDMA-modulierten 835 MHz HF-EMF (SAR = 4 W/kg) und den clastogenen Cyclophosphamid oder 4-Nitrochinolin-1-Oxid ausgesetzt waren [100]. Die Genexpression war verändert in neuronalen und glialen Zellen von Ratten, die mit Lipopolysaccharid, einem neuroinflammatorischen Agens, vorbehandelt und dann bei 1800 MHz GSM-modulierter Strahlung (SAR = 3,22 W/kg) für 2 Stunden exponiert waren [101]. Bei Ratten, die mit Picrotoxin vorbehandelt waren, einer Chemikalie, die Krampfanfälle auslöst, und die mit pulsmodulierter 900 MHz GSM HF-Strahlung von Mobiltelefonen exponiert waren, nahmen regionale Veränderungen in der Gehirnaktivität und der c-Fos-Expression zu [102, 103]. Expositionsgrenzwerte, die allein auf der Exposition gegenüber HF-Strahlung basieren, führen zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Risikos und zu unzureichendem Schutz der menschlichen Gesundheit unter Bedingungen, bei denen gleichzeitige Exposition mit anderen toxischen Substanzen zu synergistischen schädlichen Wirkungen führen [104].

## B. Faktoren, die die Dosimetrie beeinflussen

**Annahme 5)** *Gesundheitliche Auswirkungen sind nur abhängig von dem zeitlich gemittelten SAR-Wert; Modulationen der Trägerwelle, Frequenz oder Pulsung spielen keine Rolle, es sei denn, sie beeinflussen den SAR-Wert.*

Die Expositionsgrenzwerte der FCC und der ICNIRP für Hochfrequenzstrahlung basieren auf SAR-Werten für Frequenzen bis zu 6 GHz und auf Leistungsflussdichten für Frequenzen zwischen 6 GHz und 300 GHz gemittelt über 6-Minuten- oder 30-Minuten-Intervalle für lokale Bereiche und Ganzkörperexpositionen [3, 5]. Allerdings erfasst die zeitgemittelte Dosimetrie nicht die einzigartigen Eigenschaften von modulierter oder gepulster Hochfrequenzstrahlung. Zum Beispiel kann die GSM-Modulation bis zu 8 Sprachkanäle mit einer Dauer von 0,577 ms (Millisekunden) für jeden Kanal umfassen. Daher kann die Exposition durch GSM-Modulation 8-mal höher während jedes Zeitschlitzimpulses sein im Vergleich zur Exposition durch eine kontinuierliche Welle bei entsprechenden zeitlich gemittelten SAR-Werten. Außerdem können, wie unter Annahme 14 erwähnt, wiederholte Datenimpulse in Stößen mit kurzer Exposition von 5G auf der Haut lokalisierte Temperaturspitzen verursachen [105]. Die Auswirkungen von gepulster Strahlung auf biolo-

gische Aktivitäten auf molekularer oder zellulärer Ebene werden bei der zeitgemittelten Dosimetrie nicht berücksichtigt.

Ein weiterer Aspekt, der bei der zeitlich gemittelten Dosimetrie nicht berücksichtigt wird, ist die Bedeutung niederfrequenter Modulationen auf biologische Systeme. Wie unter Annahme 2 erörtert, sind eine erhöhte Produktion von ROS in lebenden Zellen und DNA-Schäden bei Exposition mit niederfrequenten Frequenzmodulationen von Hochfrequenz-Trägerwellen erwiesen [106]. Expositionsgrenzwerte, die auf zeitlich gemittelter SAR-Dosimetrie oder Leistungsflussdichte ohne Berücksichtigung der Auswirkung von Amplituden- oder Frequenzmodulationen basieren, berücksichtigen mögliche gesundheitliche Auswirkungen realer Expositionen gegenüber Hochfrequenzstrahlung nicht angemessen. Es gibt zahlreiche Belege dafür, dass verschiedene Wirkungen von HF-Exposition von der Modulation der Trägerwelle, Frequenz oder Pulsung abhängen [43, 107, 108]. Im Gegensatz zur ICNIRP/FCC stellt die IARC-Monografie zur HF-Karzinogenität fest, dass HF-Effekte von folgenden Faktoren beeinflusst werden können: Dauer der Exposition, Trägerfrequenz, Modulationsart, Polarisierung, Expositionsunterbrechung und elektromagnetische Hintergrundfelder [44].

### C. Hirntumorrisiko beim Menschen

**Annahme 6)** *Weil die Hirntumorraten seit der Verbreitung von drahtlosen Kommunikationsgeräten konstant geblieben sind und wegen Verzerrungen in den veröffentlichten Fall-Kontroll-Studien, sind die zahlreichen Humanstudien, die einen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber HF-Strahlung von Mobiltelefonen und dem Anstieg des Hirntumorrisikos gefunden haben, fehlerhaft.*

Obwohl behauptet wurde, dass "die derzeitigen Grenzwerte für Mobiltelefone zum Schutz der öffentlichen Gesundheit akzeptabel sind", weil "wir selbst bei häufigem täglichem Gebrauch der großen Mehrheit der Erwachsenen keinen Anstieg von Ereignissen wie Hirntumoren gesehen haben" [109], zeigt die SEER (Surveillance, Epidemiology, and End Results Program)-Datenbank einen jährlichen Rückgang von 0,3 % für alle Hirntumore, aber einen Anstieg von 0,3 % pro Jahr für Glioblastome in den USA zwischen 2000 und 2018 (<https://seer.cancer.gov/explorer/>). Besonders besorgniserregend ist der jährliche Anstieg für Glioblastome bei Menschen unter 20 Jahren um 2,7 % pro Lebensjahr. Darüber hinaus berichteten Zada et al. [110], dass die Inzidenz von Glioblastoma multiforme (GBM) im Frontallappen, Temporallappen und Kleinhirn in den USA zwischen 1992 und 2006 zugenommen hat, und auch Philips et al. [111] berichten von einer statistisch signifikanten Zunahme von GBM in den Frontal- und Temporallappen des Gehirns im Vereinigten Königreich zwischen 1995 und 2015. In Schweden sind die Raten von Hirntumoren im Schwedischen Nationalen Patientenregister und dem schwedischen Krebsregister von 1998 bis 2015 [112] angestiegen. Darüber hinaus sollte berücksichtigt werden, dass die kumulative Exposition,

die seitliche Nutzung am Kopf und die Latenzzeit für die Tumorbildung durch Hochfrequenzstrahlung in nationalen Krebsregistern nicht vollständig erfasst werden. Daher ist die Behauptung, dass die Trends bei den Hirntumorinzidenzraten seit der Einführung von Mobiltelefonen nicht zugenommen hätten, sowohl falsch als auch irreführend. Die Spezifität der Wirkung muss bei solchen Trendanalysen berücksichtigt werden.

Fall-Kontroll-Studien, die solide wissenschaftliche Methoden anwenden, stellten bei langfristiger, intensiver Mobiltelefonnutzung durchweg ein erhöhtes Risiko für Hirntumore vom Typ Gliom und Akustikusneurinom fest. Dieser Zusammenhang wurde von der IARC im Jahr 2011 von 30 Experten bewertet, die zu dem Schluss kamen, dass hochfrequente Funkstrahlung (HF) ein "mögliches" Karzinogen für den Menschen ist [44]. Im Gegensatz dazu wurde die viel zitierte dänische Kohortenstudie über "Mobiltelefonnutzer" [113] von der IARC aufgrund schwerwiegender methodischer Mängel im Studiendesign, einschließlich Fehlklassifizierungen [44, 114] nicht berücksichtigt.

Ergebnisse von Meta-Analysen zum Gliom-Risiko und zum Akustikusneurinom aus schwedischen Fall-Kontroll-Studien von Hardell und Mitarbeitern [115, 116], der 13-Nationen-Interphone-Studie [117] und der französischen Studie von Coureau et al. [118] sind in Tabelle 1 als Odds Ratio (OR) mit 95 % Konfidenzintervallen dargestellt. Für Gliome an irgendeiner Stelle des Kopfes wurde ein statistisch signifikanter Anstieg fast um das Zweifache gefunden, während für ipsilaterale Handynutzung (Tumor und Mobiltelefon auf der gleichen Seite des Kopfes) das Risiko um das 2,5-Fache erhöht war. Diese ORs basieren auf den Gruppen jeder Studie mit der höchsten Kategorie der kumulativen Gesprächszeit. Diese waren  $\geq 1640$  Std. in der Interphone-Studie [117, 119] und den schwedischen Studien [115, 116] und  $\geq 896$  Std. in der Studie von Coureau et al. [118]. Verringerter Überleben bei Gliomfällen, insbesondere Astrozytom Grad IV, wurde mit einer langfristigen und hohen kumulativen Nutzung von Mobiltelefonen assoziiert [120]. Erhöhtes Risiko für den mutierten Typ der p53-Genexpression in der peripheren Zone von Astrozytom Grad IV wurde mit der Nutzung von Mobiltelefonen für  $\geq 3$  Stunden pro Tag assoziiert. Die Zunahme dieser Mutation war mit einer kürzeren Gesamtüberlebenszeit signifikant korreliert [121].

Für Akustikusneurinome war das Risiko signifikant erhöht, mit kumulativer Exposition und ipsilateraler Nutzung um das 2,7-Fache. Für die Meta-Analysen dieser veröffentlichten Studien wurde ein Modell mit zufälligen Effekten verwendet, das auf einem Test auf Heterogenität basierte. Das Tumorumfang des Akustikusneurinoms stieg in der schwedischen Studie pro 100 Stunden kumulativer Nutzung von Mobiltelefonen und jahrelanger Latenz, was auf eine Tumorpromotion hinweist [115].

Auch andere Fall-Kontroll-Studien über die Nutzung von Mobiltelefonen berichteten über ein erhöhtes Risiko für ein Akustikusneurinom [122-124]. Diese Studien wurden nicht in

**Tabelle 1.** Odds Ratio (OR, Chancenverhältnis) mit 95 % Konfidenzintervall (KI) für Gliome und Akustikusneurinome in Fall-Kontroll-Studien in der höchsten Kategorie für die kumulative Handynutzung in Stunden

	Gliome				Akustikus-Neurinome			
	Alle		Ipsilateral		Alle		Ipsilateral	
	OR	95% KI	OR	95% KI	OR	95% KI	OR	95% KI
Interphone [117, 119] Kumulative Nutzung ≥1640 Std.	1.40	1.03-1.89	1.96	1.22–3.16	1.32	0.88–1.97	2.33	1.23–4.40
Coureau et al. [118] Kumulative Nutzung ≥896 Std.	2.89	1.41–5.93	2.11	0.73–6.08				
Hardell et al. [115, 116] Kumulative Nutzung ≥1640 Std.	2.13	1.61–2.82	3.11	2.18–4.44	2.40	1.39–4.16	3.18	1.65–6.12
<b>Meta-Analyse</b> längste kumulative Anwendung	<b>1.90</b>	<b>1.31–2.76</b>	<b>2.54</b>	<b>1.83–3.52</b>	<b>1.73</b>	<b>0.96–3.09</b>	<b>2,71</b>	<b>1.72–4.28</b>

<sup>a</sup> Anmerkung: Hardell et al. [115, 116] untersuchten auch die Nutzung von schnurlosen Telefonen

die Meta-Analyse einbezogen, weil die Daten zur kumulativen Handynutzung mit der Anzahl der Fälle und Kontrollen nicht angegeben waren oder wegen anderer Unzulänglichkeiten. Es ist auch bemerkenswert, dass Tumorrisiken in Teilmengen der Interphone-Studie erhöht waren; zum Beispiel war das Risiko für ein Akustikusneurinom fast um das 2-fache erhöht bei ≥10 Jahren und ipsilateraler Nutzung in den nordeuropäischen Ländern, die an der Interphone-Studie teilnahmen [125].

Es wurde behauptet, dass die Zusammenhänge zwischen dem Risiko für Hirntumoren und der Exposition gegenüber HF-Strahlung von Mobiltelefonen in den veröffentlichten Fall-Kontroll-Studien möglicherweise auf Erinnerungs- und/oder Auswahlfehler zurückzuführen seien [5, 109]. Eine erneute Analyse der in die Interphone-Studie einbezogenen kanadischen Daten zeigte jedoch, dass es keine Auswirkung auf das Gliomrisiko gab, nachdem Auswahl- und Erinnerungsfehler korrigiert worden waren [126]. Die Odds Ratios (OR) für Gliome waren signifikant und in ähnlichem Maße erhöht, wenn man das höchste Quartil der Nutzung mit denjenigen vergleicht, die keine regelmäßigen Nutzer waren, unabhängig davon, ob Korrekturen bei Verzerrungen gemacht wurden oder nicht. Darüber hinaus haben Hardell und Carlberg [116] gezeigt, dass das Risiko für Gliome bei Mobiltelefon-Nutzung signifikant erhöht war, selbst wenn man sie mit dem Risiko für Meningeome vergleicht. Da das Risiko für Meningeome nicht signifikant erhöht war, konnte diese Tumorroreaktion nicht auf einen Recall-Bias (fehlerhafte Erinnerung) zurückgeführt werden. Fest steht, Auswahl- und Erinnerungsverzerrungen erklären nicht das erhöhte Hirntumorrisiko im Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefo-

nen. Somit widersprechen die epidemiologischen Beweise den Stellungnahmen der FCC und der ICNIRP zum Hirntumorrisiko durch HF-Strahlung.

Es sollte auch beachtet werden, dass die Schilddrüse ein Zielorgan der Hochfrequenzstrahlung von Smartphones ist. Eine Fall-Kontroll-Studie über die Nutzung von Mobiltelefonen wies auf ein erhöhtes Risiko für Schilddrüsenmikrokarzinome in Verbindung mit langfristiger Handynutzung hin [127]. Periphere Lymphozyten-DNA aus Krankheitsfällen und Kontrollen wurden zur Untersuchung von Genotyp-Umwelt Wechselwirkungen genutzt. Die Studie zeigte, dass mehrere genetische Varianten basierend auf Einzelnukleotid-Polymorphismen (SNPs) das Risiko für Schilddrüsenkrebs bei Nutzung von Mobiltelefonen erhöhen [128]. Zunehmende Inzidenz von Schilddrüsenkrebs in den nordischen Ländern, insbesondere in den letzten zwei Jahrzehnten, wurde ebenfalls berichtet [129, 130]. Eine neue Fall-Kontroll-Studie fand einen signifikanten Anstieg des Brustkrebsrisikos bei taiwanesischen Frauen, basierend auf ihrer Nutzung von Smartphones und dem Abstand zwischen der Brust und der Platzierung des Smartphones [131].

## D. Individuelle Unterschiede bezüglich der Exposition und Empfindlichkeit gegenüber HF-EMF

**Annahme 7)** *Es gibt keine Unterschiede zwischen Individuen, einschließlich Kindern, in der Absorption von HF-EMF und der Empfindlichkeit gegenüber dieser Strahlung.*

Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen hinsichtlich der Absorption von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern, wenn Mobiltelefone in Kopfnähe betrieben werden, sind nachgewiesen und umfassend dokumentiert [132-137]. Hauptfaktoren für diese unterschiedlichen Absorptionsraten sind Unterschiede in der Anatomie, den dielektrischen Eigenschaften des Gewebes und der Physiologie. Durch Simulationen mit der Finite-Differenzen-Methode (FDTD), bei denen detaillierte computergestützte anthropomorphe Modelle verwendet werden, ist es möglich, Unterschiede in Bezug auf die Anatomie und die Abmessungen des Kopfes zu finden.

Da das Eindringen von EMF in menschliches Gewebe in der Größenordnung von einigen Zentimetern liegen kann, abhängig von der Wellenlänge, erhalten die inneren Gewebe des Gehirns eindeutig eine deutlich höhere Dosis in den kleineren Köpfen von Kindern als im Vergleich zu Erwachsenen, obwohl die Gesamtabsorption und die über den gesamten Kopf berechnete räumliche Spitzen-SAR (psSAR: ps=peak spatial) um geringere Beträge variieren [132, 133, 138]. Fernández et al. [136] schätzten, dass die Handystrahlung psSAR im Hippocampus bei Kindern 30-mal höher war im Vergleich zu Erwachsenen, während der psSAR in den Augen bei Kindern um das 5-Fache höher war. Diese Unterschiede sind hauptsächlich auf die größere Nähe zu den Mobilfunkantennen zurückzuführen. Die dünneren Abmessungen des Kinderschädels tragen ebenfalls zu diesem Unterschied bei [135], so dass der psSAR-Wert etwa 2-fach höher in Kindergehirnen [134-137, 139] ist als im Vergleich zu Erwachsenen.

Außerdem hat das Gewebe junger Säugetiere eine höhere Leitfähigkeit und elektrische Permittivität als das ausgewachsener Tiere [140]. Dies trägt ebenfalls zu einer größeren EMF-Durchdringung und -Absorption bei, was zu einem weiteren Anstieg des psSAR führt. Der psSAR im Schädelknochenmark von Kindern wurde auf das 10-Fache geschätzt, aufgrund der höheren Leitfähigkeit in diesem Gewebe [137]. Der Abstand zwischen dem mobilen Gerät und den Körpergeweben ist wichtig bei der Charakterisierung der Gewebedosimetrie. Die nationale Agentur ANFR in Frankreich hat kürzlich SAR-Testdaten für Mobiltelefone für 450 Handys veröffentlicht. Die psSAR-Werte von zehn Gramm (Gewebe) stiegen um 10-30 % für jeden Millimeter, den das Mobiltelefon näher am flächigen Körpermodell platziert wurde (<https://data.anfr.fr/explore/dataset/das-telephonie-mobile/disjunctive.marque&disjunctive.modele&sort=marque>).

Schließlich ist zu beachten, dass Simulationen der Gewebedosimetrie nur die physikalischen Parameter des Gewebes

berücksichtigen; sie berücksichtigen nicht die biologischen Prozesse, die in lebenden Geweben ablaufen. Während Kinder wachsen, sind sich entwickelnde Organe und Multiorgansysteme anfälliger für schädliche Wirkungen von Umweltstoffen;

Finite-Differenzen-Zeitbereichssimulationen (FDTD) berücksichtigen keine Unterschiede in der Anfälligkeit von Organen oder Systemen für Expositionen, die während der kindlichen Entwicklung auftreten.

**Annahme 8)** *Es gibt keine Unterschiede zwischen einzelnen Personen in ihrer Empfindlichkeit bezüglich der durch HF-Strahlung verursachten gesundheitlichen Auswirkungen.*

Alles Leben ist bis zu einem gewissen Grad "elektrosensibel", denn physiologische Prozesse sind sowohl von subtilen als auch von substanziellen elektromagnetischen Interaktionen auf jeder Ebene abhängig, und zwar von der molekularen bis zur systemischen Ebene. Die Reaktionen auf verschiedene Arten von elektromagnetischer Exposition zeigen, dass es ein weitaus breiteres Spektrum an EMF-Empfindlichkeiten gibt als bisher angenommen und dass Untergruppen von extrem überempfindlichen Personen existieren [141-151]. In Anbetracht der gesundheitlichen Wirkungen, die in Annahme 1 festgestellt wurden, einschließlich Kardiomyopathie, Karzinogenität und neurologische Wirkungen, sind die akuten, bewussten Symptome, die bei einigen Personen auftreten, nicht unerwartet. Der derzeit am häufigsten in der Ärzteschaft verwendete Begriff zur Beschreibung von Personen, die akut und symptomatisch auf nicht-ionisierende Strahlungsexposition empfindlich reagieren, ist elektromagnetische Hypersensibilität (EHS).

EHS ist eine multisystemische, körperliche Reaktion, charakterisiert durch Bewusstheit und/oder Symptome, die durch EMF-Expositionen ausgelöst werden. Zu den häufigen Symptomen gehören (aber nicht nur) Kopfschmerzen, Schwindel, Schlafstörung, Herzklopfen, Tinnitus, Hautausschläge, Sehstörungen, Empfindungsstörungen und Stimmungsschwankungen [152, 153]. Diese Symptome werden sogar als Reaktion auf extrem niedrige Intensität (um Größenordnungen unter den derzeitigen Sicherheitsniveaus) von EMF verschiedener Art (in Bezug auf Frequenz, Intensität und Wellenformen) berichtet. Allgemein beobachtete Auslöser von häufigen und anhaltenden EHS-Symptomen sind pulsmodierte HF-Emissionen, die mit extrem niedrigen Frequenzen moduliert sind. Zu den allgemein beobachteten Auslösern für die oft auftretenden und anhaltenden EHS-Symptome gehören Mobiltelefone, schnurlose DECT-Festnetztelefone, Wi-Fi/Bluetooth-fähige Computer, WLAN-Router, intelligente Stromzähler, Antennen von Basisstationen und elektrische Haushaltsgeräte. Die Vermeidung oder Reduzierung von EMF hat sich als der wirksamste Weg zur Verringerung der Symptome erwiesen [154].

Leitlinien für EHS-Diagnose und -Management wurden ebenfalls von Experten mit Peer-Review begutachtet und stimmen darin überein, dass die Hauptstütze der medizini-

schen Behandlung die Vermeidung anthropogener elektromagnetischer Felder ist [152, 155, 156]. Fallgeschichten mit detaillierten klinischen Darstellungen, EMF-Messungen und Abhilfemaßnahmen sind ebenfalls veröffentlicht [157]. Biomarker einschließlich erhöhter Marker für oxidativen Stress, Entzündungsmarker und Veränderungen des zerebralen Blutflusses werden weiterhin erforscht [152].

EHS wurde bei Blindversuchen als körperliche Reaktion nachgewiesen [145, 151, 158, 159], und zusätzlich zu diesen Studien wurden in Tierstudien akute EMF-induzierte Veränderungen der Kognition, des Verhaltens und auch physiologische Reaktionen beobachtet [27, 30, 160-172]; plus weitere Referenzen unter Annahme 13), die nicht durch medial kultivierte Ängste verzerrt werden können. Diese Studien liefern weitere Belege, die der Nocebo-Reaktion (physische Symptome induziert durch Furcht) als ursächlich für diese Symptome widersprechen.

Es sollte nicht erwartet werden, dass alle Provokationsstudien zuverlässig unerwünschte Reaktionen nachweisen. Die Vermutung, dass die Nocebo-Reaktion EHS-Symptome verursachen könnte, wurde jedoch mit Provokationsstudien begründet, die keinen Zusammenhang zwischen der EMF-Exposition und den berichteten Symptomen aufzeigen konnten [173]. Das Scheitern dieser Studien ist erklärbar angesichts der sehr dürftigen Methodik der meisten von ihnen. Es wurde versäumt, eine Vielzahl wesentlicher Faktoren zu berücksichtigen, die auf das Individuum zugeschnitten sein müssen, wie z. B. variables Auftreten und Abklingen der Symptome, die Notwendigkeit angemessener Ausleitungszeiten, die Spezifität der Auslösefrequenzen und -intensitäten, die Forderung nach vollständiger EMF-Hygiene während der Scheinexpositionen, die Forderung nach lebensnahen Expositionen (z. B. pulsmodierte informationsübertragende Wellen) usw. Es wurde zum Beispiel gezeigt, dass verschiedene Frequenzkanäle von GSM/UMTS-Mobiltelefonen auf dieselben menschlichen Zellen unterschiedlich wirken [174-177]. In ähnlicher Weise wurde gezeigt, dass EHS frequenzabhängig ist [151]. Wie bereits erwähnt, müssen aussagekräftige Provokationsstudien mehrere physikalische Parameter der Exposition, einschließlich der Frequenz, Modulation, Dauer der Exposition und Zeit nach der Exposition berücksichtigen [155]; die meisten Provokationsstudien, die keinen ursächlichen Zusammenhang zwischen HF-Exposition und EHS-Symptomen nachweisen [173], verwendeten nur eine oder zwei Bedingungen mit kurzfristigen Expositionen.

Es gibt viele Probleme mit der Nocebo-Reaktion als Ursache von EHS, nicht zuletzt auch das Fehlen des erforderlichen zeitlichen Zusammenhangs. Damit die Nocebo-Reaktion Ursache von EHS sein kann, müssen Bewusstsein und Besorgnis über negative gesundheitliche Auswirkungen von EMF den Symptomen vorausgehen. Bei der Mehrheit der EHS-Betroffenen ist dies jedoch nicht der Fall [178]. Da sich die öffentliche Risikokommunikation verbessert, wird dies nicht mehr nachweisbar sein; allerdings wurde dies vor allem zu dem einzigen Zeitpunkt beobachtet, an dem dies möglich

gewesen ist - vor dem allgemeinen Bewusstsein für die Gesundheitsschäden durch nicht-ionisierende Strahlung (NIS). Die ICNIRP erkennt zwar an, dass einige empfindliche Gruppen möglicherweise anfälliger für die Auswirkungen von NIS-Exposition sind, räumte gleichzeitig ein, dass ihre Richtlinien diese empfindlichen Untergruppen nicht berücksichtigen:

*"Verschiedene Gruppen in einer Bevölkerung können Unterschiede in ihrer Fähigkeit haben, eine bestimmte NIS [nicht-ionisierende Strahlung] zu tolerieren. Zum Beispiel könnten Kinder, ältere Menschen und einige chronisch Kranke eine geringere Toleranz gegenüber einer oder mehrerer Formen der NIS-Exposition haben als der Rest der Bevölkerung. Unter solchen Umständen kann es sinnvoll oder notwendig sein, separate Richtwerte für verschiedene Gruppen innerhalb der Allgemeinbevölkerung zu entwickeln, aber es kann effektiver sein, die Leitlinien für die Allgemeinbevölkerung so anzupassen, dass sie diese Gruppen einschließen. Einige Leitlinien bieten möglicherweise immer noch keinen ausreichenden Schutz für bestimmte empfindliche Personen oder für normale Personen, die gleichzeitig anderen Agenzien ausgesetzt sind, die die Wirkung der NIS-Exposition verstärken können, zum Beispiel Personen mit Lichtempfindlichkeit".*

Im Jahr 2020 stellte die ICNIRP [23] außerdem fest, dass biologische Wirkungen nicht ohne Weiteres von gesundheitlichen Auswirkungen zu unterscheiden sind, und dass ihre Richtlinien:

*"...nicht den Schutz vor biologischen Wirkungen als solchen beabsichtigen, (wenn Kompensationsmechanismen überfordert oder erschöpft sind), es sei denn, es liegt auch eine damit verbundene gesundheitliche Beeinträchtigung vor. Es ist jedoch nicht immer leicht, klar zwischen biologischen und gesundheitsschädlichen Wirkungen zu unterscheiden, und tatsächlich kann dies je nach individueller Anfälligkeit auf bestimmte Situationen variieren. Ein Beispiel sind die sensorischen Auswirkungen von nicht-ionisierender Strahlung unter bestimmten Umständen, wie z. B. ein kribbelndes Gefühl, das von der peripheren Nervenstimulation durch elektrische oder Magnetfelder herrührt; Magnetosphäre (Lichtflimmer-Empfindungen in der Peripherie des Gesichtsfeldes) infolge der Stimulation der Netzhaut durch elektrische Felder, die durch die Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern induziert werden; und Mikrowellenhören, das durch thermoelastische Wellen, die durch die Ausdehnung der Weichteile des Kopfes über die Knochenleitung zum Innenohr gelangen, hervorgerufen wird. Solche Wahrnehmungen können manchmal zu Unbehagen und Belästigung führen. Die ICNIRP betrachtet Unbehagen und Belästigung nicht als gesundheitsschädlich an sich, aber in einigen Fällen kann die Belästigung dadurch zu gesundheitsschädlichen Wirkungen führen, dass sie dem Wohlbefinden schaden. Die Expositionsbedingungen, unter denen Unbehagen und Belästigung auftreten, variieren von Person zu Person".*

Die Verharmlosung von "Unbehagen", das die Vorstufe zum Schmerz ist, steht nicht im Einklang mit den Empfehlungen der WHO, die in demselben Dokument der ICNIRP [23] zitiert werden: "Gesundheit ist ein Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens und nicht die Abwesenheit von Krankheit oder Gebrechen."

Unbehagen ist ein Zeichen dafür, dass ein Organismus etwas erlebt, was die optimale Gesundheit beeinträchtigt, und obwohl dies in einigen Fällen trivial und reversibel sein kann, kann es in anderen Fällen nicht rückgängig gemacht werden. Es gibt ein extrem breites Spektrum der Schmerztoleranz und auch des Schmerzempfindens beim Menschen, und um eine sinnvolle Gesundheitsvorsorge zu erreichen, muss "Unbehagen" ernst genommen und wenn möglich gelindert werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn Symptome wie Kopfschmerzen als Reaktion auf die Exposition im Zusammenhang mit Mobiltelefonen berichtet werden, während gleichzeitig ein erhöhtes Hirntumorrisiko durch die gleiche Exposition festgestellt wird (siehe Annahme 6).

Im realen Leben berichten Menschen mit EHS über weitaus schwerwiegendere Gesundheitsstörungen als "Unbehagen" oder "Belästigung", und in einigen Fällen führen diese Symptome zu einer Behinderung [180, 181]. Zunehmend wird EHS als Behinderung anerkannt durch nationale Gerichte in Frankreich, Schweden und Spanien, was die Forderung nach Sicherheitsrichtlinien verstärkt, die ausdrücklich dieser anfälligeren Gruppe entgegenkommen [180].

## E. Angewandte Sicherheitsfaktoren für HF-EMF-Funkarbeiter und die allgemeine Bevölkerung

**Annahme 9)** *Ein 50-facher Sicherheitsfaktor für die Exposition des ganzen Körpers durch HF-Strahlung ist angemessen für den Schutz der Bevölkerung vor gesundheitlichen Risiken durch HF-Strahlung.*

In den USA und weltweit wenden die Gesundheitsbehörden mehrere Unsicherheitsfaktoren auf Daten zu gesundheitlichen Auswirkungen an, um Expositionswerte festzulegen, die für die große Mehrheit der exponierten Bevölkerung als sicher gelten [182-184]. Leitlinien wurden für die Anwendung von Unsicherheitsfaktoren auf Chemikalien entwickelt, sind aber auch für andere toxische Agenzien, wie z. B. Hochfrequenzstrahlung zutreffend. Die Unsicherheitsfaktoren, die für toxische Wirkungen von Hochfrequenzstrahlung benötigt werden, basieren auf Studien, die einen Wert ohne beobachtete schädliche Wirkung (no-observed-adverse-effect level) (NOAEL) bei Versuchstieren zeigen, sie umfassen:

1) Ableitungen vom Tier zum Menschen. Wenn die Daten auf Studien an Versuchstieren basieren, wird ein Faktor von 3-10 angewandt (wegen möglicher Unterschiede zwischen den Arten bei Gewebedosimetrie und Reaktion), es sei denn, es liegen überzeugende Daten vor, die eine gleichwertige Empfindlichkeit bei Tieren und Menschen belegen. Es gibt jedoch keine Beweise, dass Menschen gleich oder weniger empfindlich auf Hochfrequenzstrahlung reagieren als die

Tiere, die in Studien verwendet wurden und nach denen die Expositionsgrenzwerte von der FCC und der ICNIRP festgelegt wurden.

2) Anpassung an die menschliche Variabilität. Ein zweiter Faktor von 10 wird verwendet, um die interindividuelle Variabilität der Anfälligkeit (z. B. aufgrund von Unterschieden im Alter, Geschlecht, oder bei genetischen Variationen, vorbestehenden Krankheiten) für einen toxischen Wirkstoff in der Allgemeinbevölkerung zu berücksichtigen. Es ist bekannt, dass ein Faktor von 10 für die menschliche Variabilität für empfindliche Teilpopulationen wahrscheinlich unzureichend ist und eine zusätzliche Anpassung notwendig sein kann.

3) Hochrechnung von Kurzzeitstudien auf die lebenslange Exposition. Ein zusätzlicher Faktor von 10 wird angewandt für Kurzzeitstudien, wie sie zur Festlegung von Expositionsgrenzwerten für HF-Strahlung verwendet werden, um einen lebenslangen Schutz vor chronischer Exposition zu gewährleisten. Dies ist besonders wichtig, wenn man die bemerkenswert kurzen Zeiträume berücksichtigt, in denen die Toxizität von Hochfrequenzstrahlung ursprünglich bewertet wurde [10, 11].

4) Unzulänglichkeiten in der Datenbank. Schließlich wird ein Unsicherheitsfaktor von 3 bis 10 wegen Unzulänglichkeiten in der Datenbank angewandt, wegen unvollständiger Charakterisierung der Toxizität eines Wirkstoffs. Die Verhaltensstudien [10, 11], die zur Festlegung der FCC- und ICNIRP-Grenzwerte für Hochfrequenzstrahlung verwendet wurden, bieten weder eine vollständige Charakterisierung der Wirkungen dieser Art von Strahlung, noch haben sie die empfindlichste schädliche Wirkung von Expositionen mit Hochfrequenzstrahlung identifiziert.

Die Expositionsgrenzwerte für HF, basierend auf den Verhaltensstudien an Ratten und Affen [10, 11, 90, 91] würden die Anwendung eines zusammengesetzten Unsicherheitsfaktors von etwa 900 bis 10.000 erfordern, um mit den Vorgehensweisen übereinzustimmen, die von Gesundheitsbehörden zur Festlegung von Grenzwerten für Arbeitnehmer und die allgemeine Bevölkerung angewandt werden. Basierend auf der Größe des erforderlichen Unsicherheits-/Sicherheitsfaktors ist die von der FCC und der ICNIRP verwendeten Datenbasis eindeutig unzureichend, um HF-Grenzwerte mit hinreichender Sicherheit festzulegen. Die von der FCC und der ICNIRP willkürlich gewählten Sicherheitsfaktoren von 10 für Arbeiter/Arbeitnehmer/Funkarbeiter und 50 für die allgemeine Bevölkerung sind völlig unzureichend für den Schutz exponierter Bevölkerungsgruppen.

Wenn die Unsicherheits-/Sicherheitsfaktoren auf einen falsch ermittelten Expositionsschwellenwert für schädliche Wirkungen angewandt werden, bietet der resultierende Wert keine Gewähr für den Gesundheitsschutz für die allgemeine Bevölkerung, die dem Agens ausgesetzt ist. Die oben zitierten Studien [18, 22, 91, 92, 96] zeigen, dass der Ganzkörper-SAR-Wert von 4 W/kg kein Schwellenwert für schädliche Wirkungen durch Hochfrequenzstrahlung ist. In einer kürzlich durchgeführten quantitativen Analyse verschiedener

gesundheitsschädlicher Wirkungen aus der NTP Studie zeigten Uche und Naidenko [185], dass der zulässige Ganzkörper-SAR von 0,08 W/kg (basierend auf einer 50-fachen Reduktion eines angenommenen Schwellen-SAR-Wertes von 4 W/kg) 20-40-fach höher war als die gesundheitsschützenden SAR-Werte, die durch Benchmark-Dosismodellierung von NTP-Daten für Kardiomyopathie abgeleitet wurden (nach Anwendung von 10-fachen Sicherheitsfaktoren für Interspezies- und Intraspezies-Variabilität). Die von diesen Autoren verwendeten Ansätze entsprechen den Methoden, die von der US-Umweltschutzbehörde zur Quantifizierung von Gesundheitsrisiken für toxische und krebserregende Umweltsstoffe empfohlen werden [1, 182]. Demnach wäre eine 50-fache Reduzierung des angenommenen Schwellenwertes für die Ganzkörper SAR-Werte von 4 W/kg unzureichend, um die Gesundheit der allgemeinen Bevölkerung vor der Exposition gegenüber HF-Strahlung zu schützen.

**Annahme 10)** *Ein 10-facher Sicherheitsfaktor für die Ganzkörperexposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung ist angemessen, um Arbeitnehmer vor jedweden Gesundheitsrisiken durch Hochfrequenzstrahlung zu schützen.*

Als 1997 Grenzwerte für HF-Strahlung eingeführt wurden, wurde der Unterschied zwischen den Sicherheitsfaktoren für die Allgemeinbevölkerung (50-fach) und für Arbeitnehmer (10-fach) mit "den Expositionszeiten der beiden Bevölkerungsgruppen, gerundet auf eine Stelle, begründet (40 Arbeitsstunden pro Woche/168 Stunden pro Woche ~ 0,2)" [6]. Zusätzlich zu den Unterschieden in den Expositionszeiten zwischen Arbeitnehmern und der Allgemeinbevölkerung begründet die ICNIRP die Angemessenheit des niedrigeren Sicherheitsfaktors für Arbeitnehmer damit, dass "beruflich exponierte Personen als eine homogenere Gruppe als die Allgemeinbevölkerung angesehen werden können", dass es sich "im Allgemeinen um relativ gesunde Erwachsene innerhalb einer begrenzten Altersspanne handelt" und dass "beruflich exponierte Personen unter kontrollierten Bedingungen arbeiten und über die mit der Exposition gegenüber nicht-ionisierender Strahlung verbundenen Risiken für ihre spezifische Situation und darüber, wie sie diese Risiken reduzieren können, informiert sein sollten" [23]. Im Gegensatz dazu "ist sich die Allgemeinheit in den meisten Fällen ihrer Exposition gegenüber nicht-ionisierender Strahlung nicht bewusst und ohne Aufklärung kann nicht erwartet werden, dass sie Vorsichtsmaßnahmen ergreift, um die schädlichen Auswirkungen der Exposition zu minimieren oder zu vermeiden".

Die Annahme, dass die Arbeitnehmer darin geschult sind, die mit der HF-Exposition verbundenen Gesundheitsrisiken zu verstehen und diese Risiken so weit wie möglich zu mindern, ist nicht korrekt, da weder die FCC noch die ICNIRP-Richtlinien gesundheitliche Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung bei SAR-Werten unter 4 W/kg anerkennen und die von der FCC und ICNIRP festgelegten Expositionsgrenzwerte keine gesundheitlichen Auswirkungen von Langzeitexpositionen berücksichtigen [3, 5]. Die einzige von der FCC und der ICNIRP angesprochene gesundheitliche Auswir-

kung ist die Schädigung von Gewebe durch übermäßige Erwärmung bei kurzzeitiger Exposition. Daher ist die 10-fache Verringerung des Grenzwertes für die Ganzkörper-SAR-Werte, die aus kurzzeitigen Verhaltensstudien an Ratten und Affen berechnet wurde, unzureichend, um die Gesundheit von Arbeitnehmern zu schützen, die langfristig Hochfrequenzstrahlung ausgesetzt sind (siehe Kommentare unter Grundannahme 9). Es gibt keine Daten, die die Angemessenheit dieses willkürlich gewählten Sicherheits- bzw. Unsicherheitsfaktors für beruflich exponierte Arbeitnehmer belegen. Im Gegenteil wurden überhöhte Krebsrisiken mit der Exposition von Arbeitnehmern im Hochfrequenzbereich, die Radar- und Kommunikationssysteme im militärischen und beruflichen Umfeld bedienen, in Verbindung gebracht [186].

**Annahme 11)** *Die Exposition von einem Gramm würfelförmigen Gewebes bis zu 1,6 W/kg oder von 10 g würfelförmigen Gewebes bis zu 2 W/kg (Dauer nicht angegeben) erhöht nicht das Risiko dieses Gewebes für toxische oder karzinogene Wirkungen in der Allgemeinbevölkerung.*

Die Gewebedosimetrie wurde in der NTP-Studie zur Hochfrequenzstrahlung von Mobiltelefonen bei Ratten und Mäusen analysiert [187]. Bei Ratten betragen die Ganzkörperexpositionen während der 10-minütigen Einschaltzyklen 1,5, 3,0 oder 6,0 W/kg, und die SAR-Werte für Gehirn und Herz wichen von den Ganzkörper-SAR-Werten um etwa 7 % bzw. weniger als dem Zweifachen ab. Eine quantitative Risikobewertung der NTP-Tumorinzidenzdaten ist erforderlich, um das organspezifische Krebsrisiko zu bewerten. In der Stellungnahme der FDA [19] bezüglich der NTP-Studie wurde die Notwendigkeit "großer, gut geplanter Tierversuche ... anerkannt, um die Grundlage für die Bewertung des Risikos von drahtlosen Kommunikationsgeräten für die menschliche Gesundheit zu schaffen".

Nach mehr als drei Jahren, nachdem ein externes Peer-Review der NTP-Studien "eindeutige Beweise für eine krebserregende Wirkung" ergeben hat, spielt die FDA [109] die Bedeutung dieser Ergebnisse jedoch weiterhin herunter und vermeidet eine quantitative Risikobewertung der Tumordaten, die sie selbst ursprünglich gefordert hatte.

Im Gegensatz zur FDA analysierten Uche und Naidenko [185] die NTP-Daten zur Kardiomyopathie anhand eines Benchmark-Dosis-Ansatzes und stellten fest, dass das 10%ige zusätzliche Risikoniveau für diese Wirkung im Bereich einer Ganzkörper-SAR von 0,2 bis 0,4 W/kg liegt. Somit besteht ein erhöhtes Risiko (mehr als 10 %) für die Entwicklung einer Kardiomyopathie bei lokalen Gewebe-SAR-Werten unter 1,6 oder 2,0 W/kg.

Die räumliche spezifische Spitzenabsorptionsrate (psSAR), wie sie von der ICNIRP und der FCC verwendet wird, ist eine unzureichende Dosismessung für Hochfrequenzstrahlung bei Frequenzen über 1 GHz. Die psSAR wird durch Mittelung fester kubischer Volumina berechnet, die eine bestimmte Menge an Masse enthalten, und geht von einem homogenen Material mit einer bestimmten Massendichte aus. Die

ICNIRP empfiehlt, den Durchschnitt von kubischen Volumina zu bilden, die 10 g Gewebe enthalten (10 g-psSAR), während die FCC empfiehlt, den Durchschnitt von kubischen Volumina zu bilden, die 1 g Gewebe enthalten (1 g-psSAR). Die derzeitigen Empfehlungen beschränken den Einsatz von psSAR auf Frequenzen bis zu 6 GHz [3, 5].

Eine Bewertung des Nutzens der Verwendung von psSAR als dosimetrischem Parameter bei verschiedenen Frequenzen von 100 MHz bis 26 GHz und mit Würfelgrößen von 10 mg bis 10 g ist in **Zusätzliche Datei 2: Anhang 2** dargestellt. Bei kleineren Würfeln und niedrigeren Frequenzen unterschätzt die Mittelung im Würfel den Maximalwert auf der Würfeloberfläche nicht, aber bei höheren Frequenzen kann der über größere Würfel gemittelte psSAR-Wert um ein Mehrfaches niedriger sein als der über kleinere Würfel gemittelte psSAR-Wert. Zum Beispiel unterschätzt bei 2,45 GHz die Mittelung über einen 10 g-Würfel den über kleinere Würfel gemittelten psSAR-Wert um 4 dB (etwa das 2,5-fache), während bei 5,8 GHz die Mittelung über einen 10-g-Würfel den psSAR-Wert im Vergleich zur Mittelung über einen 10 mg-Würfel um 12 dB (etwa das 16-fache) und im Vergleich zur Mittelung über einen 1 g-Würfel um 6 dB (etwa das 4-fache) unterschätzt. Wenn die Frequenz erhöht wird, wird die Unterschätzung des psSAR, gemittelt in größeren Würfeln (z. B. 10 g oder 1 g) im Vergleich zu kleineren Würfeln (z. B. 100 mg und 10 mg), deutlicher. Betrachtet man den 10 g-Würfel, so ist der Unterschied zwischen dem psSAR für 5,8 GHz EMF im Vergleich zu 0,9 GHz EMF etwa 7 dB (oder eine etwa 5-fache Unterschätzung). Diese großen Unterschiede sind auf die geringere Penetration von EMF bei höheren Frequenzen zurückzuführen. Daher bieten die 10 g-psSAR-Empfehlungen der ICNIRP und die 1 g-psSAR-Empfehlungen der FCC keine zuverlässigen dosimetrischen Parameter zur Bewertung der EMF-Absorption über 1 GHz.

Die SAR-Mittelung über einen 10 g-Würfel ist auch für die Bewertung der Karzinogenität unzureichend, da sie ein zu großes Volumen darstellt, um sich auf Stammzellen und ihre wichtige Rolle bei der Karzinogenese zu konzentrieren. Menschliche Stammzellen reagieren empfindlicher auf hochfrequente Strahlung von GSM- und UMTS-Mobiltelefonen als Lymphozyten und Fibroblasten [175]. Anstelle einer zufälligen Verteilung von Zielen für die Karzinogenese ist eine lokalisierte Verteilung von SAR in kleineren Volumina erforderlich, um die Beziehungen zwischen SAR und Tumorinduktion genauer zu charakterisieren. Aus der Sicht der Stammzellorganisation kann das Volumen bei den SAR-Bestimmungen besonders wichtig für die Festlegung von Sicherheitsgrenzen für Kinder sein, da die meisten Stammzellen und ihre Nischen während der Gehirnentwicklung räumlich und zeitlich vergänglich sind [188].

**Annahme 12)** *Die Exposition eines beliebigen Gramms würfelförmigen Gewebes mit bis zu 8 W/kg oder von 10 g würfelförmigen Gewebes mit bis zu 10 W/kg (Dauer nicht angegeben) erhöht nicht das Risiko dieses Gewebes für toxische oder karzinogene Wirkungen bei Arbeitnehmern.*

Basierend auf den Analysen der Gewebedosimetrie in der NTP-Studie [187] wurden bei Ratten organspezifische toxische und karzinogene Wirkungen bei lokalen Gewebe-SAR-Werten beobachtet, die viel niedriger waren als 8 oder 10 W/kg [18]. Die Gewebedosimetrie in der NTP-Studie und die Unzulänglichkeit der von ICNIRP und FCC festgelegten lokalen SAR-Werte werden in Annahme 9 beschrieben.

## F. Umweltexposition durch HF-Strahlung

**Annahme 13)** *Es gibt keine Bedenken hinsichtlich der Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung auf die Umwelt, auf wild lebende Tiere oder auf Haustiere.*

Während die Hintergrundwerte von Hochfrequenz-EMF in der Umwelt, auch in abgelegenen ländlichen Gebieten, zunehmen [189], berücksichtigen weder die FCC noch die ICNIRP die Auswirkungen dieser Strahlung auf Wildtiere. Die ständige Bewegung der meisten Wildtierarten innerhalb und außerhalb unterschiedlicher künstlicher EMF kann zu einer hohen Exposition in der Nähe von Kommunikationsstrukturen führen, insbesondere für fliegende Arten wie Vögel und Insekten. Es gibt eine beträchtliche Menge an wissenschaftlicher Literatur über die störenden Auswirkungen von HF auf Wildtiere (z.B. [190-206]).

Viele nicht-menschliche Arten nutzen die geomagnetischen Felder der Erde für Aktivitäten wie Orientierung und saisonale Wanderung, Nahrungssuche, Paarung, Nest- und Höhlenbau [190]. So nehmen beispielsweise Zugvogelarten [191, 192], Honigbienen [193], Fledermäuse [194], Fische [195-197] und zahlreiche andere Arten die Magnetfelder der Erde mit spezialisierten Sinnesrezeptoren wahr. Zu den Mechanismen, die wahrscheinlich an der Magnetrezeption beteiligt sind, gehören die magnetische Induktion schwacher elektrischer Signale in spezialisierten Sinnesrezeptoren [198], magnetomechanische Wechselwirkungen mit dem eisenbasierten Kristall Magnetit [194] und/oder Wechselwirkungen zwischen freien Radikalen und Cryptochrom-Photorezeptoren [191,192]. Jeder dieser Wahrnehmungsprozesse reagiert extrem empfindlich auf Veränderungen der Intensität elektromagnetischer Felder. Eine ausführlichere Beschreibung der Mechanismen, mit denen nicht-menschliche Spezies die Magnetorezeption zur Durchführung lebenswichtiger Aktivitäten nutzen, ist in Levitt et al. zu finden [190].

Die folgenden Studien sind einige von vielen Beispielen für die störenden Auswirkungen von schwachen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf die Magnetwahrnehmung und das natürliche Verhalten von Wildtieren. Es wurde berichtet, dass oszillierende Magnetfelder die Fähigkeit von Zugvögeln stören, sich im geomagnetischen Feld der Erde

zu orientieren und zu navigieren [199-202]. Gartengrasmäcken wurden durch ein schwaches oszillierendes Magnetfeld von 1,403 MHz mit einer Intensität von nur 2-3 nT (Nanotesla, Maßeinheit für die magnetische Flussdichte) desorientiert [200]. Die Orientierung von Rotkehlchen, die das Erdmagnetfeld zur Kompass-Orientierung nutzen, wurde durch die Exposition mit elektromagnetischem Rauschen im Frequenzbereich von 50 kHz bis 5 MHz oder einem breitbandigen, rauschmodulierten ELF, der den Bereich von ~ 2 kHz bis ~ 9 MHz abdeckt, vollständig gestört [199, 201]. Es wurde gezeigt, dass Hochfrequenz-Rauschen im niedrigen MHz-Bereich (7,0 MHz mit 480 nT oder 1,315 MHz mit 15 nT) den Vogelkompass für die Dauer der Exposition außer Betrieb setzt [202].

Zusätzlich zu den Auswirkungen auf Zugvögel fanden Landler und andere, dass bei einem schwachen Magnetfeld (1,43 MHz mit einer Intensität von 30-52 nT) die natürliche Orientierung von an Land geschlüpften Jungschildkröten gestört ist. GSM-modulierte 900-MHz HF-Strahlung führte dazu, dass Ameisen ihr visuelles und olfaktorisches Gedächtnis für die Nahrungssuche verloren [166]. Die Navigationsfähigkeiten von Forellen waren reduziert, wenn sie unter Bedingungen aufgezogen wurden, in denen Magnetfelder räumlich verfälscht waren [204].

Auch die Aktivitäten von Honigbienen werden durch die Exposition gegenüber HF-Strahlung gestört. GSM-modulierte Mobilfunkstrahlung (900 MHz) führte zu einer Verringerung der Eiablage von Bienenköniginnen und zu einer Verringerung der Pollen- und Honigmenge im Bienenstock [205]. GSM-modulierte Mobilfunkstrahlung (900 MHz) verringerte das Schlüpfen und veränderte die Puppenentwicklung von Bienenköniginnenlarven [206].

Die fehlende Berücksichtigung der chronischen schwachen Hochfrequenz-Strahlenexposition auf wild lebende Tiere könnte zu gefährlich störenden Auswirkungen auf empfindliche Ökosysteme und auf das Verhalten und Überleben von Arten führen, die seit langem in der natürlichen Umwelt der Erde existieren.

## G. 5G (5. Generation des Mobilfunks)

**Annahme 14)** *Für die Exposition gegenüber 5G werden keine Daten über gesundheitliche Auswirkungen benötigt; es wird von einer ausreichenden Sicherheit ausgegangen, da die Penetration auf die Haut beschränkt ist ("minimale Körpereindringung").*

Weltweit werden drahtlose Kommunikationssysteme der fünften Generation (5G) eingesetzt, um höhere Datenübertragungsraten mit kürzeren Verzögerungszeiten zwischen einer großen Anzahl verbundener drahtloser Geräte zu ermöglichen. Um eine schnellere Übertragung großer Datenmengen (bis zu 20 Gigabit pro Sekunde in der Spitze) zu erreichen, umfasst der Frequenzbereich für 5G neben den Trägerfrequenzen von nur 600 MHz auch Millimeterwellen

(30 bis 300 GHz). Extrem hochfrequente Millimeterwellen (MMW), welche große Datenmengen an Nutzergeräte übertragen, werden mittels Sichtlinienübertragung mit Beamforming-Antennen in enge Strahlenbündel gelenkt. Da Millimeterwellen keine festen Strukturen wie Baumaterialien, Hügel, Wälder usw. durchdringen und nur kurze Entfernungen (einige hundert Meter) überbrücken, werden dichtere Netze von Basisstationen mit Massive-MIMO-Sendern und -Empfängern (Multiple Input/Multiple Output) in Millionen von kleinen Small-Cells auf Strukturen wie Versorgungsmasten installiert. Dies kann dazu führen, dass Menschen und strahlende Antennen viel näher beieinander sind und sich dadurch die individuelle Spitzen- und Durchschnittsbelastung durch HF-Strahlung verändert.

Bei einer 5G-Frequenz von 26 GHz ist die EMF-Absorption sehr oberflächlich, was bedeutet, dass bei typischer menschlicher Haut mehr als 86 % der einfallenden Leistung innerhalb des ersten Millimeters absorbiert wird. Die Eindringtiefe der Haut wurde auf der Grundlage der elektrischen Leitfähigkeit der Haut und ihrer elektrischen Permittivität mit 1 mm berechnet [5, 207]. Damit dürfte der SAR-Wert in diesem Gewebe deutlich über den empfohlenen Grenzwerten liegen ([208] und **zusätzliche Datei 2:** Anhang 2). Dies dürfte auch für sehr kleine Arten wie Vögel und andere Kleintiere (z. B. Insekten) schädlich sein [209]. Es wird oft behauptet, dass die Exposition gegenüber hochfrequenter 5G-Strahlung aufgrund ihrer geringen Eindringtiefe sicher ist und dass die einzige Wirkung die Erwärmung des Gewebes ist [210]. Diese Ansicht ignoriert jedoch die tiefere Penetration der niederfrequenten Komponenten modulierter HF-Signale, die ausschließlich auf der Grundlage von Wärme bewertet werden, sowie die Auswirkungen kurzer Wärmestöße von gepulsten Signalen [211, 212]. Innerhalb des ersten Millimeters der Haut teilen sich die Zellen, um die Hornschicht zu erneuern (ein Kriterium für Hautkrebs), und die Nervenenden in der Dermis befinden sich innerhalb von 0,6 mm (Augenlider) bis 3 mm (Füße) der Oberfläche (ein Kriterium für neurologische Wirkungen). Ultraviolettes Licht, das seine Wirkung in einer Eindringtiefe von weniger als 0,1 mm entfaltet [213, 214], ist eine anerkannte Ursache für Hautkrebs [87].

Je höher die Frequenz der elektromagnetischen Wellen ist, desto kürzer ist die Wellenlänge und desto geringer ist die Eindringtiefe der Energie in exponierte Menschen oder Tiere. Zum Beispiel beträgt die Eindringtiefe in den menschlichen Körper bei 6 GHz etwa 8 mm und bei 30 GHz 0,92 mm [5]. Wegen der geringen Tiefe der Energieabsorption bei Frequenzen, die höher als 6 GHz sind, haben die FCC und die ICNIRP die Expositionsgrenzwerte auf die Leistungsflussdichte statt auf SAR-Werte gestützt. Die FCC [3] schlug einen allgemeinen Grenzwert für die lokale Leistungsflussdichte von 4 mW/cm<sup>2</sup>, gemittelt über 1 cm<sup>2</sup>, vor, der 30 Minuten für 5G-Dienste bis 3000 GHz für die Allgemeinbevölkerung nicht überschreiten darf, und behauptete, dass diese Exposition mit der räumlich gemittelten Spitzen-SAR von 1,6 W/kg, gemittelt über 1 g Gewebe bei 6 GHz, übereinstimmt. Die Expositionsgrenzwerte der ICNIRP [5] für 5G sind eine absorbierte Leistungsflussdichte von 200 W/m<sup>2</sup> (0,2 W/cm<sup>2</sup>), gemittelt über 4 cm<sup>2</sup> und ein 6-Minuten-Intervall für Frequen-

zen bis 30 GHz, und  $400 \text{ W/m}^2$  ( $0,4 \text{ mW/cm}^2$ ), gemittelt über  $1 \text{ cm}^2$  und ein 6-Minuten-Intervall für Frequenzen von 30 GHz bis 300 GHz.

Aufgrund der geringen Eindringtiefe führt die Exposition mit 5G-Strahlung zu einer höheren Energieintensität auf der Haut und anderen direkt exponierten Körperteilen wie der Hornhaut oder der Linse des Auges. Die Haut, das größte Organ des menschlichen Körpers, erfüllt jedoch wichtige Funktionen wie die einer physischen und immunologischen Schutzbarriere gegen mechanische Verletzungen, Infektionen durch pathogene Mikroorganismen und das Eindringen toxischer Substanzen. Darüber hinaus sind Hautkrebserkrankungen, einschließlich Basalzellkarzinome und Plattenepithelkarzinome die häufigsten Krebsarten beim Menschen, Melanome metastasieren stark und treten immer häufiger auf. Obwohl die hohe Inzidenz von Hautkrebs weitgehend auf die Exposition gegenüber ultraviolettem Licht zurückgeführt wird, gibt es keine Studien über die Auswirkungen von 5G-Strahlung auf (I) die Fähigkeit der Haut, Schutz vor pathogenen Mikroorganismen zu bieten, (II) die mögliche Verschlimmerung anderer Hautkrankheiten, (III) die Förderung von sonnenlichtinduziertem Hautkrebs oder (IV) die Auslösung von Hautkrebs an sich. Es fehlen auch Informationen über die Auswirkungen der 5G-Strahlung auf das Nerven- und Immunsystem, die ebenfalls durch die geringere Eindringtiefe von Millimeterwellen belastet sind. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die maximale Bandbreite der 5G-Strahlung, die bis zu 100 MHz im Frequenzbereich von 450 MHz bis 6 GHz und bis zu 400 MHz in den Bereichen von 24 GHz bis 52 GHz beträgt, im Vergleich zu früheren Arten der mobilen Kommunikation, bei denen die Bandbreite auf 20 MHz begrenzt ist. Da viele Studien auf frequenzabhängige, nicht-thermische Auswirkungen von Mobilfunk-Hochfrequenzstrahlung [43, 177] und für MMW-Wirkungen [215, 216] hinweisen, würde die Möglichkeit effektiver Frequenzfenster für biologische Wirkungsmechanismen mit der größeren Bandbreite der 5G-Strahlung zunehmen.

Eine weitere Überlegung zu den Auswirkungen von 5G-Expositionen auf die menschliche Gesundheit ist, dass Strahlungspulse, die durch extrem schnelle Datenübertragungsraten erzeugt werden, das Potenzial haben, Energiestöße zu erzeugen, die sich viel tiefer ausbreiten können, als von herkömmlichen Modellen vorhergesagt [217, 218]. Neufeld und Kuster [105] zeigten, dass wiederholte Datenpulse in Stößen mit kurzer Exposition bei 5G lokale Temperaturspitzen in der Haut verursachen können, die zu dauerhaften Gewebeschäden führen, selbst wenn die durchschnittlichen Energiedichtewerte innerhalb der akzeptablen Sicherheitsgrenzen der ICNIRP lagen. Die Autoren drängten auf die Festlegung neuer thermischer Sicherheitsstandards, um die mit der 5G-Technologie möglichen Gesundheitsrisiken anzugehen:

*„Die fünfte Generation der drahtlosen Kommunikationstechnologie (5G) verspricht eine Übertragung mit bis zu 100-mal höheren Datenraten als 4G. Zu diesem Zweck werden höhere Frequenzen (einschließlich Millimeterwellenbändern), breitbandige Modulationsverfahren und damit schnellere Signale mit steileren Anstiegs- und Abfallzeiten eingesetzt,*

*möglicherweise in Kombination mit gepulstem Betrieb für den Mehrfachzugriff im Zeitbereich... Die in den aktuellen Expositionsrichtlinien festgelegten Schwellenwerte für Frequenzen über 10 MHz, die in den aktuellen Expositionsrichtlinien (ICNIRP 1998, IEEE 2005, 2010) festgelegt sind, sollen die Gewebeerwärmung begrenzen. Kurze Funkpulse können jedoch zu erheblichen Temperaturschwankungen führen, die sich bei hohen Frequenzen (>10 GHz, grundlegend für 5G) noch verstärken können, wo die geringe Eindringtiefe zu einer intensiven Oberflächenerwärmung und einem steilen, schnellen Temperaturanstieg führt...“*

Zu den Bereichen, in denen Unsicherheiten und gesundheitliche Bedenken im Zusammenhang mit 5G-Strahlung bestehen, gehören der potenzielle Anstieg der Hautkrebsraten mit (oder möglicherweise ohne) gleichzeitige Exposition gegenüber Sonnenlicht, die Verschlimmerung von Hautkrankheiten, eine größere Anfälligkeit für pathogene Mikroorganismen, Hornhautschäden am Auge oder die frühzeitige Entwicklung von grauem Star, Auswirkungen auf die Hoden und eine mögliche resonanzverstärkte Absorption aufgrund von Hautstrukturen [219]. Eine der komplexen technischen Herausforderungen in Bezug auf die Exposition des Menschen gegenüber 5G-Millimeterwellen besteht darin, dass die nicht vorhersehbaren Ausbreitungsmuster, die zu einer inakzeptablen Exposition des Menschen gegenüber elektromagnetischer Strahlung führen könnten, nicht gut verstanden werden [220]. Obwohl Millimeterwellen in biologisch entsprechenden Geweben innerhalb von 1 bis 2 mm fast vollständig absorbiert werden, können ihre Auswirkungen in einem lebenden menschlichen Körper tiefer eindringen, möglicherweise durch Beeinflussung von Signalweiterleitungswegen. Diese Unwägbarkeiten bei der 5G-Exposition sind zu groß, als dass man ohne angemessene Daten zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Unbedenklichkeit ausgehen könnte. Es gibt keine adäquaten Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen einer kurz- oder langfristigen Exposition gegenüber 5G-Strahlung in Tiermodellen oder beim Menschen.

## Diskussion

Um gesundheitsbezogene Grenzwerte für toxische und karzinogene Stoffe zu entwickeln, stützen sich die Regulierungsbehörden in der Regel auf die verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse über den zu prüfenden Stoff. Als die FCC [4] und die ICNIRP [9] Mitte und Ende der 1990er Jahre erstmals Grenzwerte für die Exposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung festlegten, war die vorherrschende These, dass etwaige schädliche Auswirkungen der Exposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung auf eine übermäßige Erwärmung zurückzuführen seien, da nicht-ionisierende Strahlung nicht genügend Energie habe, um chemische Bindungen aufzubrechen oder die DNA zu schädigen. Nicht-thermische Wirkungen von HF werden jedoch durch Studien belegt, die unterschiedliche Wirkungen bei Exposition mit kontinuierlichen Wellen im Vergleich zu gepulsten oder modulierten Wellen bei gleicher Frequenz und gleichem SAR-Wert bzw. gleicher Leistungsflussdichte feststellen, z. B. [221–226], und durch Studien, die schädliche Wirkungen bei sehr niedrigen Expositionsintensitäten zeigen, z. B. [78, 96].

Studien zur Bewertung der kurzfristigen Expositionen, die in den 1980er Jahren an Ratten und Affen durchgeführt wurden [10, 11], deuten darauf hin, dass ein SAR-Wert von 4 W/kg eine Schwellendosis für Verhaltenseffekte darstellen könnte. Da diese SAR mit einem ungefähren Anstieg der Körpertemperatur um 1 °C verbunden war, wurde wiederum angenommen, dass keine gesundheitsschädlichen Wirkungen auftreten würden, wenn der Anstieg der Körperkern-temperatur weniger als 1 °C beträgt. Von dieser angenommenen Schwellendosis wurde ein "Sicherheitsfaktor" von 10 für berufliche Expositionen und ein zusätzlicher Faktor von 5 (insgesamt das 50-fache) für die allgemeine Bevölkerung angewandt, was zu Expositionsgrenzwerten führte, bei denen die Ganzkörper-SAR weniger als 0,4 W/kg für Arbeitnehmer und 0,08 W/kg für die allgemeine Bevölkerung betrug. Da man sich jedoch bewusst war, dass bestimmte Bereiche des Körpers eine 10- bis 20-mal höhere Dosis an Hochfrequenzstrahlung zugeführt bekommen könnten als die SAR-Werte für den gesamten Körper, wurden von der FCC lokale Spitzenbelastungsgrenzwerte mit SAR-Werten festgelegt, die 20-mal höher waren als die Ganzkörper-SAR-Werte, d. h. 8 W/kg, gemittelt über 1 g Gewebe, für lokale Expositionen für Arbeitnehmer und 1,6 W/kg, gemittelt über 1 g für die Allgemeinbevölkerung [3, 4]. Die ICNIRP entschied sich für eine Teilkörperexposition, die 2,0 W/kg, gemittelt über 10 g würfelförmiges Gewebe, für die Allgemeinbevölkerung nicht überschreiten sollte [5, 9]. Die ICNIRP [24] begründet den geringeren Sicherheitsfaktor für Arbeitnehmer (10-fach) gegenüber der Allgemeinbevölkerung (50-fach) unter anderem damit, dass die Arbeitnehmer über die mit der Exposition gegenüber nicht-ionisierender Strahlung verbundenen Risiken informiert sind und wissen, wie sie diese Risiken verringern können, während "die Allgemeinbevölkerung sich in den meisten Fällen ihrer Exposition gegenüber nicht-ionisierender Strahlung nicht bewusst ist und ohne Aufklärung nicht erwartet werden kann, dass sie Vorsichtsmaßnahmen ergreift, um die schädlichen Auswirkungen der Exposition zu minimieren oder zu vermeiden." Aus Sicht der öffentlichen Gesundheit sollten die FCC und die ICNIRP die Öffentlichkeit über ihre Exposition gegenüber HF aufklären und Vorsichtsmaßnahmen fördern, um mögliche

schädliche Auswirkungen zu minimieren, insbesondere für Kinder und schwangere Frauen. Acht praktische Empfehlungen des International EMF Scientist Appeal (Internationaler Appell der EMF-Wissenschaftler), die darauf abzielen, die Öffentlichkeit vor möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der Exposition gegenüber nicht-ionisierenden EMF zu schützen und darüber aufzuklären [227], sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Die Kurzzeit-Verhaltensstudien, die die Grundlage für die Expositionsgrenzwerte der FCC und der ICNIRP bilden, enthielten keine Informationen über mögliche Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung, die nach längerer Expositionsdauer auftreten können, und sie befassten sich nicht mit den Auswirkungen der in der drahtlosen Kommunikation verwendeten Trägerwellenmodulationen. Die in den letzten 25 Jahren durchgeführte Forschung zur HF-Strahlung hat Tausende wissenschaftlicher Arbeiten hervorgebracht, von denen viele zeigen, dass Kurzzeit-Verhaltensstudien für die Entwicklung von gesundheitsschützenden Expositionsgrenzwerten für Menschen und Wildtiere unzureichend sind und dass die den Expositionsgrenzwerten der FCC und der ICNIRP zugrunde liegenden Annahmen nicht zutreffend sind. Erstens sind 4 W/kg kein Schwellenwert für gesundheitliche Auswirkungen von HF-Expositionen; experimentelle Studien mit niedrigeren Dosen und längerer Expositionsdauer haben Kardiomyopathie, Karzinogenität, DNA-Schäden, neurologische Auswirkungen, eine erhöhte Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke und Spermenschäden nachgewiesen (siehe Annahmen 1-3). Mehrere solide epidemiologische Studien über Handystrahlung haben ein erhöhtes Risiko für Hirntumore festgestellt (Annahme 6), und diese werden durch eindeutige Beweise für die Karzinogenität der gleichen Zelltypen (Gliazellen und Schwann-Zellen) aus Tierversuchen unterstützt. Sogar Studien von D'Andrea und anderen [89, 90], die vor der Verabschiedung der Grenzwerte durchgeführt wurden, ergaben Verhaltensstörungen bei Ratten, die 14 oder 16 Wochen lang bei mittleren SAR-Werten von 0,7 W/kg und 1,23 W/kg Hochfrequenzstrahlung ausgesetzt waren. Eine Kombination aus Expositionsdauer und Expositionsintensität wäre für die Festlegung von

**Tabelle 2:** Vom internationalen EMF-Wissenschaftler-Appell empfohlene Vorsichtsmaßnahmen

- 1) Der Schutz von Kindern und schwangeren Frauen sollte Vorrang haben
- 2) Richtlinien und regulatorische Standards sollten verschärft werden
- 3) Die Hersteller sollten ermutigt werden, sicherere Technologien zu entwickeln
- 4) Die Öffentlichkeit sollte umfassend über die potenziellen Gesundheitsrisiken durch elektromagnetische Energie informiert und über Strategien zur Schadensbegrenzung aufgeklärt werden
- 5) Medizinische Fachkräfte müssen über die biologischen Auswirkungen elektromagnetischer Energie aufgeklärt und in der Behandlung von Patienten mit elektromagnetischer Empfindlichkeit geschult werden
- 6) Die Regierungen müssen Ausbildung und Forschung zu elektromagnetischen Feldern und Gesundheit finanzieren, die unabhängig von der Industrie sind
- 7) Die Medien sollten die finanziellen Beziehungen von Experten zur Industrie offenlegen, wenn sie deren Meinungen zu Gesundheits- und Sicherheitsaspekten von EMF-emittierenden Technologien zitieren
- 8) Es müssen strahlenfreie Zonen eingerichtet werden, insbesondere für Personen mit EHS

Sicherheitsstandards für die Exposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung von mobilen Kommunikationssystemen wie Mobiltelefonen, Basisstationen und WLAN besser geeignet.

Mehr als 120 Studien haben oxidative Wirkungen im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung niedriger Intensität nachgewiesen (Zusätzliche Datei 1: Anhang 1). Die DNA-Schäden, über die in Studien über Hochfrequenzstrahlung berichtet wurde, wurden höchstwahrscheinlich durch die Induzierung von oxidativem Stress verursacht, der eine Schlüsseleigenschaft von Humankarzinogenen ist [88], und nicht durch direkte Ionisierung (Annahme 2). Die Erzeugung reaktiver Sauerstoffverbindungen wurde auch mit DNA-Schäden und der Karzinogenität von UVA-Sonneneinstrahlung [87] und Asbest [228] in Verbindung gebracht. Trotz der enormen Menge an wissenschaftlichen Beweisen für die Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung bei niedrigen Dosen, behauptet das IEEE [229] (Institute of Electrical and Electronics Engineers), dass Verhaltensstörungen immer noch die empfindlichste und am besten reproduzierbare Auswirkung von Hochfrequenzstrahlung sind. Diese Meinung hat dazu beigetragen, dass die FCC [3] und die ICNIRP [5] ihre früheren Expositionsgrenzwerte für HF-Strahlung bekräftigt haben.

Weitere Bedenken hinsichtlich der derzeitigen Grenzwerte für Hochfrequenzstrahlung bestehen darin, dass sie potenzielle Synergieeffekte aufgrund der gleichzeitigen Exposition gegenüber anderen toxischen oder karzinogenen Stoffen, sowie Auswirkungen von gepulster Strahlung oder Frequenzmodulationen, auch mehrere Frequenzen, sowie unterschiedlicher Absorptionsniveaus oder Empfindlichkeiten von Kindern aufgrund der Unterschiede in der Empfindlichkeit von Personen gegenüber Hochfrequenzstrahlung nicht berücksichtigen (siehe Annahmen 4, 5, 7, 8). Gegenwärtig ist die kumulative Exposition von Kindern viel höher als die von früheren Generationen und sie nimmt weiter zu [230]. Die ICNIRP [23, 179] räumte ein, dass ihre Richtlinien empfindliche Untergruppen nicht berücksichtigen und gibt zu, dass es schwierig ist, "biologische Wirkungen" von "gesundheitlichen Wirkungen" zu trennen. Neurologische Symptome, von denen einige von der ICNIRP anerkannt werden und die gegenwärtig bei Personen mit EHS auftreten, sind mit Sicherheit nicht-thermische "Gesundheitsauswirkungen", die durch die Bereitstellung von Umgebungen mit reduzierter Exposition gegenüber anthropogenen EMF für überempfindliche Personen abgemildert werden müssen.

Die schwächenden Auswirkungen und die Einschränkungen, unter denen Erwachsene und Kinder mit EHS leiden, stellen einen Verstoß gegen das Gleichstellungsgesetz von 2010, das Menschenrechtsgesetz und andere ethische und rechtliche Rahmenbedingungen dar. Dass auf diese Gruppe nicht reagiert und sie nicht angemessen geschützt wird, führt bereits jetzt zu vermeidbarer Morbidität, Mortalität und wirtschaftlichen Defiziten aufgrund von verloren gegangenen Arbeitstagen, Entschädigungen für Krankheitsfolgen und erhöhten Kosten im Gesundheitswesen. Umgekehrt würde die Berücksichtigung dieser Gruppe durch die von der ICNIRP [179] vorgeschlagene "Anpassung der Leitlinien für die All-

gemeinbevölkerung, um diese Gruppen einzubeziehen", nicht nur die negativen Auswirkungen für Menschen mit EHS verringern, sondern auch die öffentliche Gesundheit im Allgemeinen verbessern, vorausgesetzt, dass auch andere, nicht-ionisierende strahlenbedingte Gesundheitsprobleme, die in diesem Papier hervorgehoben werden, berücksichtigt werden.

Bei der Festlegung von Grenzwerten für die lokale Gewebeeexposition auf der Grundlage von 1 g - [3] oder 10 g - [5] Würfeln wird die räumliche Spitzen-SAR im Vergleich zur Zugrundelegung von Grenzwerten für die lokale Gewebeeexposition mit kleineren Würfeln (z. B. 100 mg oder 10 mg) erheblich unterschätzt, sie ist daher kein zuverlässiger Dosismetrie-Parameter für die Bewertung der EMF-Absorption bei Frequenzen über 1 GHz (Annahmen 11, 12). Die von der FCC und der ICNIRP für lokale Gewebe-SAR-Grenzwerte angegebenen Volumina sind zu groß, bei dem Fokus auf Stammzellen, die wichtige Ziele für die Karzinogenese sind. Um die Gesundheitsrisiken durch Hochfrequenzstrahlung zu verringern, sollten die Grenzwerte für die örtliche Verteilung der SAR auf 100 mg- oder vorzugsweise 10 mg-Würfeln basieren.

Ein weiterer wichtiger Mangel, der in diesem Papier angesprochen wird, ist die Tatsache, dass weder die FCC noch die ICNIRP auf die Umweltauswirkungen von Hochfrequenzstrahlung auf wild lebende Tiere eingehen, obwohl es umfangreiche Literatur gibt, die die störenden Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung auf das Verhalten wild lebender Tiere belegt (Annahme 13).

Die willkürlich gewählten Unsicherheits-/Sicherheitsfaktoren, die auf den vermeintlichen SAR-Schwellenwert für Hochfrequenzstrahlung angewendet werden, sind für den Schutz der öffentlichen Gesundheit völlig unzureichend (Annahmen 9, 10). Folgt man der Art und Weise, wie die US-Umweltschutzbehörde, der Internationale Rat für Harmonisierung und das Nationale Institut für Arbeitssicherheit und Gesundheit (US NIOSH) Unsicherheits-/Sicherheitsfaktoren auf einen NOAEL-Wert (No Observed Adverse Effect Level) bei Versuchstieren anwenden [182-184], würde der Sicherheitsfaktor für Hochfrequenzstrahlung mindestens 900 bis 10.000 betragen, welcher 18- bis 200-mal größer ist als der von der FCC und ICNIRP empfohlene Sicherheitsfaktor für die allgemeine Bevölkerung. Dieser hohe Sicherheitsfaktor basiert auf der Berücksichtigung der menschlichen Variabilität, der lebenslangen Exposition, abgeleitet aus Kurzzeitstudien, und den Unzulänglichkeiten der Datenbank, die auf einer unvollständigen Charakterisierung der Toxizität von Hochfrequenzstrahlung beruht. Die aktuellen Verhaltensstudien, die als Grundlage für die derzeitigen Grenzwerte für Hochfrequenzstrahlung dienen, sind eindeutig nicht geeignet, um die Risiken für die menschliche Gesundheit im Zusammenhang mit einer langfristigen Exposition gegenüber dieser Art von Strahlung zu beschreiben. Der NCRP-Bericht aus dem Jahre 1986 [6] und das ANSI/IEEE-Dokument aus dem Jahre 1992 [7] erkannten an, dass es notwendig sein wird, die Expositionsnormen zu bewerten und möglicherweise zu überarbeiten, sobald zukünftige Studien über die biologischen

Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung vorliegen, einschließlich der Auswirkungen chronischer Expositionen oder des Nachweises von nicht-thermischen Wechselwirkungen. Als die FCC [3] und die ICNIRP [5] ihre Expositionsgrenzwerte aus den 1990er Jahren bekräftigten, ließen sie die wissenschaftlichen Erkenntnisse außer Acht, welche die Annahmen, die diesen Grenzwerten zugrundeliegen, entkräften. Eine unabhängige Neubewertung der Grenzwerte für Hochfrequenzstrahlung auf der Grundlage der in den letzten 25 Jahren gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse ist notwendig und längst überfällig. Diese Bewertung sollte von Wissenschaftlern und Ärzten durchgeführt werden, die keine Interessenkonflikte haben und über Fachwissen in den Bereichen HF-EMF-Exposition und Dosimetrie, Toxikologie, Epidemiologie, klinische Bewertung und Risikobewertung verfügen. Es sollten besondere Vorkehrungen getroffen werden, um sicherzustellen, dass die Interpretation von Daten über gesundheitliche Auswirkungen und die Festlegung von Grenzwerten für Hochfrequenzstrahlung nicht durch das Militär oder die Telekommunikationsindustrie beeinflusst werden. In der Zwischenzeit sollten die Hersteller verpflichtet werden, sicherere Technologien zu entwickeln [227].

Abschließend weisen wir auf unsere Besorgnis über die weltweite Einführung von 5G-Kommunikationsnetzen zur schnelleren Übertragung großer Datenmengen hin, ohne dass angemessene Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen die Sicherheit von hochfrequenten Millimeterwellen belegen. Aufgrund der begrenzten Durchdringung und Reichweite von Millimeterwellen werden dichte Netze von Basisstationen auf Strukturen wie Strommasten in dicht besiedelten Städten errichtet. Da die Absorption von EMF bei Frequenzen über 6 GHz minimal ist, hat die ICNIRP [5] die absorbierte Leistungsdichte ( $S_{ab}$ ) als dosimetrischen Parameter für "Erwärmungseffekte" bei höheren Frequenzen festgelegt.  $S_{ab}$  ist eine Funktion der einfallenden Leistungsdichte ( $S_{inc}$ ) und des Eingangsreflexionskoeffizienten ( $\Gamma$ ). In Nahfeldszenarien hat die  $S_{inc}$  keinen eindeutigen Wert. Dies liegt vor allem an der heterogenen Beschaffenheit der menschlichen Körpergewebe und ihrer relevanten Parameter (wie Dielektrizitätskonstante, äquivalente Leitfähigkeit, Massendichte), die in verschiedenen Körperregionen und mit der Frequenz variieren.

Die Annahme, dass 5G bei den von der ICNIRP empfohlenen Grenzwerten für die Leistungsflussdichte ( $50 \text{ W/m}^2$  und  $10 \text{ W/m}^2$  im Durchschnitt über 6 Minuten für die berufliche Exposition bzw. 30 Minuten für die Exposition der Bevölkerung) aufgrund des minimalen Eindringens in den Körper sicher ist, rechtfertigt nicht die Ablehnung der Notwendigkeit von Studien über gesundheitliche Auswirkungen vor der Einführung von 5G-Netzen. Die neuen Kommunikationsnetze werden zu einer Strahlenexposition führen, die die breite Öffentlichkeit bisher noch nicht erlebt hat (Annahme 14). Die Einführung der 5G-Technologie ohne angemessene Informationen über die gesundheitlichen Auswirkungen wirft viele Fragen auf, wie z.B.: Wird die Exposition gegenüber 5G-Strahlung: (I) die Fähigkeit der Haut beeinträchtigen, Schutz vor pathogenen Mikroorganismen zu bieten? (II) Wird sie die Entwicklung von Hautkrankheiten verschlimmern? (III) Erhöht sie das Risiko von sonnenlichtinduziertem Hautkrebs? (IV) Erhöht sie das Risiko von Schäden an der Linse oder der Hornhaut im Auge? (V) Erhöht sie das Risiko von Hodenschäden? (VI) Wird sie tiefere Auswirkungen auf das Gewebe haben, entweder indirekt durch Auswirkungen auf oberflächliche Strukturen oder direkt durch das tiefere Eindringen der ELF-Komponenten der modulierten Hochfrequenz-Signale? (VII) Wird sie sich nachteilig auf Wildtierpopulationen auswirken? Antworten auf diese und andere Fragen, die für die Gesundheit von Menschen und Wildtieren relevant sind, sollten gegeben werden, **bevor** es zu einer weit verbreiteten Exposition gegenüber 5G-Strahlung kommt, nicht danach. Basierend auf den Lehren, die aus Studien zur Hochfrequenzstrahlung bei Frequenzen unter 6 GHz gezogen werden sollten, sollten wir uns nicht länger auf die ungeprüfte Annahme verlassen, dass aktuelle oder zukünftige drahtlose Technologien, einschließlich 5G, ohne angemessene Tests sicher sind. Ein anderes Vorgehen ist weder im Interesse der öffentlichen Gesundheit noch der Umweltgesundheit.

### Ergänzende Informationen

Die Online-Version enthält zusätzliches Material, verfügbar unter <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12940-022-00900-9>

**Zusätzliche Datei 1: Anhang 1 Tabelle 1.** Studien, die eine erhöhte oxidative DNA-Schädigung und andere Indikatoren für oxidativen Stress bei SAR < 4 W/kg zeigen.

**Zusätzliche Datei 2: Anhang 2.** Über die Unzulänglichkeit der psSAR-Dosimetrieparameter bei Frequenzen über 1 GHz.

**Tabelle 1.** Elektrische Permittivität und elektrische Leitfähig-

keit der grauen Substanz. **Abbildung 1.** Ein Block der grauen Substanz, der von verschiedenen Frequenzen bestrahlt wird. Die hervorgehobenen Würfel sind von 10 g, 1 g, 100 mg und 10 mg. **Abb. 2.** Ein Block der grauen Substanz, der mit verschiedenen (weiteren) Frequenzen bestrahlt wird. Die hervorgehobenen Würfel entsprechen 10 g, 1 g, 100 mg und 10 mg. **Abb. 3.** In jedem Würfel gemittelte elektrische Feldstärke für verschiedene Frequenzen: auf der linken Achse ist das elektrische Feld in dB angegeben, auf der rechten Achse in V/m, normiert auf 100 V/m.

## Danksagungen

*Igor Belyaev*: Krebsforschungsinstitut, Biomedizinisches Forschungszentrum, Slowakische Akademie der Wissenschaften, Slowakei

*Carl Blackman*: US-Umweltschutzbehörde (im Ruhestand), North Carolina, USA

*Kent Chamberlin*: Fachbereich Elektrotechnik und Computertechnik, Universität von New Hampshire, USA

*Alvaro DeSalles*: Graduiertenprogramm für Elektrotechnik (PPGEE), Bundesuniversität von Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasilien

*Suleyman Dasdag*: Abteilung für Biophysik, Istanbul Medeniyet Universität, Medizinische Fakultät, Türkei

*Claudio Fernandez*: Abteilung für Elektrotechnik und Elektronik, Bundesinstitut von Rio Grande do Sul (IFRS), Canoas, Brasilien

*Lennart Hardell*: Abteilung für Onkologie, Universitätskrankenhaus Örebro, Schweden (im Ruhestand), Stiftung für Umwelt- und Krebsforschung, Örebro, Schweden

*Paul Heroux*: Epidemiologie, Biostatistik und Gesundheit am Arbeitsplatz, Medizinische Fakultät, McGill-Universität, Kanada

*Elizabeth Kelley*: ICBE-EMF und International EMF Scientist Appeal, und Electromagnetic Safety Alliance, Arizona, USA

*Kavindra Kesari*: Abteilung für Angewandte Physik, School of Science, Aalto-Universität, Espoo, Finnland

*Don Maisch*: EMFacts Consultancy; The Oceanic Radiofrequency, Scientific Advisory Association; Tasmanien, Australien

*Erica Mallery-Blythe*: Physicians' Health Initiative for Radiation and Environment; British Society of Ecological Medicine; Oceania Radiofrequency Scientific Advisory Association, Großbritannien

*Ronald L. Melnick*: Nationales Toxikologieprogramm, Nationales Institut für Umweltgesundheitswissenschaften (im Ruhestand), Ron Melnick Consulting LLC, Logan, Utah, USA

*Anthony Miller*: Dalla Lana School of Public Health (Professor Emeritus), Universität von Toronto, Ontario, Kanada

*Joel M. Moskowitz*: Schule für öffentliche Gesundheit, Universität von Kalifornien, Berkeley, Kalifornien, USA

*Wenjun Sun*: Schule für öffentliche Gesundheit, Medizinische Fakultät der Zhejiang-Universität; Hangzhou, China

*Igor Yakymenko*: Nationale Universität für Lebensmitteltechnologie, Medizinische Universität Kiew, Ukraine

## Abkürzungen

**8-OHdG**: 8-Hydroxydesoxyguanosin, ein nützlicher Marker für die Anzeige von DNA-Schäden durch Mutagenese und Karzinogenese

**ANSI**: The American National Standards Institute ANSI, amerikanisches Institut für Standardisierung

**CDMA**: Code Division Multiple Access, ein Mehrfachzugriffsverfahren, das mehreren Mobilfunk-Benutzern den Zugriff auf einen Funk-Übertragungskanal ermöglicht

**Comet-Assay**: eine Technik der Gelelektrophorese, durch die es ermöglicht wird, DNA-Schädigungen in einzelnen Zellen festzustellen. Entwickelt wurde der Assay 1984 von Östling und Johanson zum Nachweis von DNADoppelstrangbrüchen

## Beiträge der Autoren

IB, AD, CF, LH, PH, KK, DM, EMB, RLM und IY haben die ersten Abschnitte dieses Manuskripts verfasst: IB (Faktoren, die die Dosimetrie beeinflussen), AD und CF (Absorption bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen, maximale räumliche spezifische Absorptionsrate), LH (Hirnkrebsrisiko beim Menschen), KK (Spermienschäden), DM und DM (5G), EMB (elektromagnetische Überempfindlichkeit), RLM (Kardiomyopathie, Karzinogenität, neurologische Wirkungen, Sicherheitsfaktoren) und IY (oxidativer Stress und DNA-Schäden). IY erstellte Anhang 1, AD und CF erstellten Anhang 2. Die Autoren, die Teile des Manuskripts verfassten, sowie CB, KC, SD, EK, AM, JMM und WS überprüften mehrere Manuskriptentwürfe und nahmen Überarbeitungen vor. Alle Autoren haben das endgültige Manuskript geprüft und genehmigt.

## Finanzierung

Die Electromagnetic Safety Alliance stellte Mittel für die Publikationskosten zur Verfügung.

## Verfügbarkeit von Daten und Materialien

Alle Literaturzitate sind online verfügbar.

## Erklärungen

### Ethische Genehmigung und Einverständnis zur Teilnahme

Nicht anwendbar.

### Einverständnis zur Veröffentlichung

Nicht anwendbar.

### Konkurrierende Interessen

IB, EMB und AM haben als Gutachter in Fällen mit Hochfrequenzbestrahlung als Kläger fungiert. Alle anderen Autoren erklären, dass sie keine konkurrierenden Interessen haben.

Eingereicht: 14. Juli 2022; Angenommen: 8. September 2022;

Online publiziert: 18. Oktober 2022

**dB**: Dezibel

**DECT**: Digital Enhanced Cordless Technology, Kommunikationsstandard für schnurlose Telefone und zur kabellosen Datenübertragung bei Funkfrequenzen um 1,9 GHz

**EHS**: Elektrohypersensitivität

**ELF**: extrem niedrige Frequenz im Bereich von 30 - 300 Hz

**EMF**: Elektromagnetisches Feld

**FCC**: Federal Communications Commission, US-Zulassungsbehörde für Kommunikationsgeräte

**FDA**: U.S. Food and Drug Administration, US-Lebensmittel- und Arzneimittelbehörde

**GBM**: Glioblastoma multiforme, Hirntumor

**GHz**: Gigahertz

**GSM**: Globales System für mobile Kommunikation, Internationaler Standard für die zweite Mobilfunk-Generation (2G)

**HeLa-Zellen:** menschliche Epithelzellen eines Zervixkarzinoms (Gebärmutterhalskrebs) und die ersten menschlichen Zellen, aus denen eine permanente Zelllinie etabliert wurde

**HF-EMF:** Hochfrequente elektromagnetische Funkfelder (engl. RFR)

**IARC:** Internationale Agentur für Krebsforschung

**ICBE-EMF:** Internationale Kommission für die biologischen Wirkungen elektromagnetischer Felder

**ICNIRP:** Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers, US-Institut der Elektro- und Elektronikingenieure

**Ionisierende Strahlung:** Strahlung mit einer Wellenlänge von weniger als 200 nm, die beim Durchgang durch Materie Ionisation verursacht, d.h. ein Elektron von einem Atom oder Molekül entfernen kann und so ein Ion und ein freies Elektron produziert (z.B. Alpha-Teilchen, Röntgen- und Gamma-Strahlung).

**LTE:** Long Term Evolution, Mobilfunkstandard der 4. Generation (4G)

**Mikronuklei:** zusätzliche, vom Zellkern getrennte Kerne, die während der Telophase der Mitose oder Meiose aus Chromosomen-Bruchstücken durch spontane oder experimentell herbeigeführte Chromosomen-Strukturänderungen entstehen. Mit Mikronukleus wird auch der kleinere, reproduktive Kern mehrkerniger Protozoen bezeichnet.

**MIMO:** Multiple Input/Multiple Output

**MMV:** Millimeterwelle

**NIR / NIS:** Non ironizing radiation, nicht-ionisierende Strahlung

**NCRP:** National Council on Radiation Protection, Nationaler Rat für Strahlenschutz in den USA

**NOAEL:** No Observed Adverse Effect Level, der NOAEL entspricht der höchsten Dosis oder Expositionskonzentration eines Stoffes in subchronischen oder chronischen Studien, bei der keine signifikant erhöhten schädigenden behandlungsbedingten Befunde beobachtet werden

**Nocebo-Reaktion:** Das Auftreten unerwünschter Wirkungen durch eine negative Erwartungshaltung

**nT:** Nanotesla, Maßeinheit für die magnetische Flussdichte

**NTP:** National Toxicology Program. Das US-Nationale Toxikologieprogramm liefert die wissenschaftliche Grundlage für Programme, Aktivitäten und Strategien, die die Gesundheit fördern oder zur Prävention von Krankheiten führen.

**OR (Odds Ratio):** eins von drei gebräuchlichen Maßen, um die Stärke eines Zusammenhangs zu quantifizieren. Genauer gesagt, macht das Odds Ratio eine Aussage darüber, inwieweit das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein eines Merkmals A mit dem Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein eines weiteren Merkmals B korreliert. Merkmal A könnte hierbei beispielsweise eine fettreiche Ernährung sein und Merkmal B ein Herzinfarkt.

**Permittivitätszahl:** Die Permittivität  $\epsilon$ , auch dielektrische Leitfähigkeit oder dielektrische Funktion genannt, gibt in der Elektrodynamik und auch in der Elektrostatik die Durchlässigkeit eines Materials für elektrische Felder an

**psSAR:** Peak spatial specific absorption rate, maximale räumliche spezifische Absorptionsrate

**Quartil:** Als Quartile werden die drei Werte bezeichnet, die eine geordnete Verteilung in vier Bereiche teilen, die jeweils ein Viertel der Werte enthalten

**Recall-Bias:** fehlerhafte oder lückenhafte Erinnerung

**ROS:** Reaktive Sauerstoffspezies

**SAR:** Spezifische Absorptionsrate, sie beschreibt, wie viel Leistung pro Kilogramm Körpergewicht absorbiert wird, angegeben in Watt pro Kilogramm.

**UMTS:** Universeller mobiler Telekommunikationsdienst, Mobilfunkstandard der 3. Generation (3G)

**UVR:** Ultraviolette Strahlung

#### Empfohlenes Glossar für Fachbegriffe:

[www.emf-portal.org/de/glossary/a](http://www.emf-portal.org/de/glossary/a)

Diese Studie wurde übersetzt von:

**diagnose:funk**

Technik sinnvoll nutzen

#### Impressum

Diagnose-Funk e.V.  
Postfach 15 04 48  
D - 70076 Stuttgart  
kontakt@diagnose-funk.de

Bestellnummer: 249

Diagnose-Funk Schweiz  
Heinrichsgasse 20  
CH - 4055 Basel  
kontakt@diagnose-funk.ch

Spendenkonto: DE39 4306 0967 7027 7638 00

[www.diagnose-funk.org](http://www.diagnose-funk.org) [www.emfdata.org](http://www.emfdata.org)

Februar 2023

## Referenzen zu ICBE-EMF 2022, Environmental Health (2022) 21:92

1. US Environmental Protection Agency (US EPA). "Guidelines for carcinogen risk assessment", EPA/630/P-03/001F. Washington, DC; 2005. Available at [https://www3.epa.gov/airtoxics/cancer\\_guidelines\\_final\\_3-25-05.pdf](https://www3.epa.gov/airtoxics/cancer_guidelines_final_3-25-05.pdf)
2. US Environmental Protection Agency (US EPA). "Supplemental guidance for assessing susceptibility for early-life exposure to carcinogens", EPA/630/R-03/003F. Washington, DC; 2005. Available at [https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-09/documents/childrens\\_supplement\\_final.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-09/documents/childrens_supplement_final.pdf)
3. Federal Communications Commission (FCC). "Proposed Changes in the Commission's Rules Regarding Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields; Reassessment of Federal Communications Commission Radiofrequency Exposure Limits and Policies", FCC 19-126, 2019. <https://www.federalregister.gov/documents/2020/04/06/2020-06966/human-exposure-to-radiofrequency-electromagnetic-fields>
4. Federal Communications Commission (FCC). "Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields", 1997. OET Bulletin 65. [https://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering\\_Technology/Documents/bulletins/oet65/oet65.pdf](https://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/Documents/bulletins/oet65/oet65.pdf)
5. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Health Phys. 2020;118:483-524.
6. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). "Biological Effects and Exposure Criteria for Radiofrequency Electromagnetic Fields", NCRP Report No. 86, 1986. <https://ncrponline.org/publications/reports/ncrp-report-86/>
7. American National Standards Institute (ANSI), "Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz", ANSI/IEEE C95.1-1992. <https://emfguide.itu.int/pdfs/c95.1-2005.pdf>
8. D'Andrea JA, Adair ER, de Lorge JO. Behavioral and cognitive effects of microwave exposure. Bioelectromagnetics Suppl. 2003; 6:39-62.
9. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 1998;74:494-522.
10. De Lorge JO, Ezell CS. Observing-responses of rats exposed to 1.28- and 5.62-GHz microwaves. Bioelectromagnetics. 1980; 1:183-98.
11. De Lorge JO. Operant behavior and colonic temperature of *Macaca mulatta* exposed to radio frequency fields at and above resonant frequencies. Bioelectromagnetics. 1984;5:233-46.
12. Lotz WG. Hyperthermia in radiofrequency-exposed rhesus monkeys: a comparison of frequency and orientation effects. Radiat Res. 1985;102:59-70.
13. Stuchly MA. Potentially hazardous microwave radiation source - a review. J Microw Power. 1977;12(4):369-81.
14. Adair RK. Biophysical limits on athermal effects of RF and microwave radiation. Bioelectromagnetics. 2003;24:39-48.
15. Prohofsky EW. RF absorption involving biological macromolecules. Bioelectromagnetics. 2004;25:441-51.
16. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). In: Vecchia P, Matthes R, Ziegelberger G, Lin J, Saunders R, Swerdlow, editors. Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz); 2009. <https://www.icnirp.org/en/publications/article/hf-review-2009.html>
17. Food and Drug Administration (FDA). 1999. FDA's nomination of RF radiation in 1999 for the NTP study. Available at [https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/chem\\_background/exsumpdf/wireless051999\\_508.pdf](https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/chem_background/exsumpdf/wireless051999_508.pdf)
18. National Toxicology Program (NTP). NTP technical report on the toxicology and carcinogenesis studies in Hsd:Sprague Dawley SD rats exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones, Technical report series no. 595. Research Triangle Park: National Institutes of Health, Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services; 2018. [https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/lt\\_rpts/tr595\\_508.pdf](https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/lt_rpts/tr595_508.pdf)
19. National Toxicology Program (NTP). NTP technical report on the toxicology and carcinogenesis studies in B6C3F1/N mice exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (1,900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones, Technical report series no. 596. Research Triangle Park: National Institutes of Health, Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services; 2018. [https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/lt\\_rpts/tr596\\_508.pdf](https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/lt_rpts/tr596_508.pdf)
20. Chou CK, Guy AW, Kunz LL, Johnson RB, Crowley JJ, Krupp JH. Long-term, low-level microwave irradiation of rats. Bioelectromagnetics. 1992;13:469-96.
21. National Toxicology Program (NTP). National Toxicology Program peer review of the draft NTP technical reports on cell phone radiofrequency radiation. Research Triangle Park: National Institute of Environmental Health Sciences; 2018. Available at [https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/about\\_ntp/trpanel/2018/march/peerreview20180328\\_508.pdf](https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/about_ntp/trpanel/2018/march/peerreview20180328_508.pdf)
22. Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, DeAngelis L, Gnudi F, et al. Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radio-frequency field representative of a 1.8 GHz base station environmental emission. Environ Res. 2018;165:496-503.
23. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Principles for non-ionizing radiation protection. Health Phys. 2020;118:477-82.
24. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). ICNIRP note: critical evaluation of two radiofrequency electromagnetic field animal carcinogenicity studies published in 2018. Health Phys. 2020;118:525-32.
25. Melnick R. Regarding ICNIRP's evaluation of the National Toxicology Program's carcinogenicity studies of radiofrequency electromagnetic fields. Health Phys. 2020;118:678-82.

26. Wyde M, Horn R, Capstick MH, Ladbury JM, Koepke G, Wilson PF, et al. Effect of cell phone radiofrequency radiation on body temperature in rodents: pilot studies of the National Toxicology Program's reverberation chamber exposure system. *Bioelectromagnetics*. 2018;39:190-9.
27. Fragopoulou AF, Miltiadous P, Stamatakis A, Stylianopoulou F, Koussoulakos SL, Margaritis LH. Whole body exposure with GSM 900-MHz affects spatial memory in mice. *Pathophysiology*. 2010;17:179-87.
28. Li Y, Shi C, Lu G, Xu Q, Liu S. Effects of electromagnetic radiation on spatial memory and synapses in rat hippocampal CA1. *Neural Regen Res*. 2012;7:1248-55.
29. Narayanan SN, Kumar RS, Karun KM, Nayak SB, Bhat PG. Possible cause for altered spatial cognition of prepubescent rats exposed to chronic radiofrequency electromagnetic radiation. *Metab Brain Dis*. 2015;30:1193-206.
30. Razavinasab M, Moazzami K, Shabani M. Maternal mobile phone exposure alters intrinsic electrophysiological properties of CA1 pyramidal neurons in rat offspring. *Toxicol Ind Health*. 2016;32:968-79.
31. Schneider J, Stangassinger M. Nonthermal effects of lifelong high-frequency electromagnetic field exposure on social memory performance in rats. *Behav Neurosci*. 2014;128:633-7.
32. Tang J, Zhang Y, Yang L, Chen Q, Tan L, Zuo S, et al. Exposure to 900 MHz electromagnetic fields activates the mdk-1/ERK pathway and causes blood-brain barrier damage and cognitive impairment in rats. *Brain Res*. 2015;1601:92-101.
33. Lai H. A summary of recent literature (2007-2017) on neurobiological effects of radiofrequency radiation. In: Markov M, editor. *Mobile communications and public health*. Boca Raton: CRC press; 2018. p. 187-222. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b22486-8/summary-recent-literature-2007-2017-neurobiological-effects-radio-frequency-radiation-henry-lai>
34. Hardell L, Söderqvist F, Carlberg M, Zetterberg H, Hansson-Mild K. Exposure to wireless phone emissions and serum beta-trace protein. *Int J Mol Med*. 2010;26:301-6.
35. Frey AH, Feld SR, Frey B. Neural function and behavior: defining the relationship. *Ann N Y Acad Sci*. 1975;247:433-9.
36. Persson BR, Salford LG, Brun A, Eberhardt JL, Malmgren L. Increased permeability of the blood-brain barrier induced by magnetic and electromagnetic fields. *Ann N Y Acad Sci*. 1992;649:356-8.
37. Salford LG, Brun A, Stureson K, Eberhardt JL, Persson BR. Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50, and 200 Hz. *Microsc Res Tech*. 1994;15:535-42.
38. Eberhardt JL, Persson BR, Brun AE, Salford LG, Malmgren LO. Blood-brain barrier permeability and nerve cell damage in rat brain 14 and 28 days after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Electromagn Biol Med*. 2008;27:215-29.
39. Nittby H, Brun A, Eberhardt J, Malmgren L, Persson BR, Salford LG. Increased blood-brain barrier permeability in mammalian brain 7 days after exposure to the radiation from a GSM- 900 mobile phone. *Pathophysiology*. 2009;16:103-12.
40. Sirav B, Seyhan N. Effects of radiofrequency radiation exposure on blood-brain barrier permeability in male and female rats. *Electromagn Biol Med*. 2011;30:253-60.
41. Sirav B, Seyhan N. Effects of GSM modulated radio-frequency electromagnetic radiation on permeability of blood-brain barrier in male & female rats. *J Chem Neuroanat*. 2016;75:123-7.
42. Schuermann D, Mevissen M. Manmade electromagnetic fields and oxidative stress – biological effects and consequences for health. *Int J Mol Sci*. 2021;22:3772. <https://doi.org/10.3390/ijms22073772>
43. Belyaev IY. 2010. Dependence of non-thermal biological effects of microwaves on physical and biological variables: implications for reproducibility and safety standards. *Eur J Oncol – Library*. 2010;5:187-218.
44. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans: non-ionizing radiation, part 2: radiofrequency electromagnetic fields. Lyon, France, 102; 2013. p. 1-460. <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Non-ionizing-Radiation-Part-2-Radiofrequency-Electromagnetic-Fields-2013>
45. Prausnitz S, Susskind C. Effects of chronic microwave irradiation on mice. *Ire Trans Biomed Electron*. 1962;9:104-8.
46. La Vignera S, Condorelli RA, Vicari E, D'Agata R, Calogero AE. Effects of the exposure to mobile phones on male reproduction: a review of the literature. *J Androl*. 2012;33:350-6.
47. Kesari KK, Kumar S, Nirala J, Siddiqui MH, Behari J. Biophysical evaluation of radiofrequency electromagnetic field effects on male reproductive pattern. *Cell Biochem Biophys*. 2013;65:85-96.
48. Kesari KK, Agarwal A, Henkel R. Radiations and male fertility. *Reprod Biol Endocrinol*. 2018;16:118. <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0431-1>
49. Zha XD, Wang WW, Xu S, Shang XJ. Impacts of electromagnetic radiation from cellphones and Wi-fi on spermatogenesis. *Zhonghua Nan Ke Xue*. 2019;25:451-45.
50. Yadav H, Rai U, Singh R. Radiofrequency radiation: a possible threat to male fertility. *Reprod Toxicol*. 2021;100:90-100.
51. Agarwal A, Desai NR, Makker K, Varghese A, Mouradi R, Sabanegh E, et al. Effects of radiofrequency electromagnetic waves (RF-EMW) from cellular phones on human ejaculated semen: an in vitro pilot study. *Fertil Steril*. 2009;92:1318-25.
52. Adams JA, Galloway TS, Mondal D, Esteves SC, Mathews F. Effect of mobile telephones on sperm quality: a systematic review and meta-analysis. *Environ Int*. 2014;70:106-12.
53. Dama MS, Bhat MN. Mobile phones affect multiple sperm quality traits: a meta-analysis. *F100Res*. 2013;2:40. <https://doi.org/10.12688/f1000research.2-40.v1>
54. Kim S, Han D, Ryu J, Kim K, Kim YH. Effects of mobile phone usage on sperm quality - no time-dependent relationship on usage: a systematic review and updated meta-analysis. *Environ Res*. 2021;202:111784. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111784>
55. Yu G, Bai Z, Song C, Cheng Q, Wang G, Tang Z, et al. Current progress on the effect of mobile phone radiation on sperm quality: an updated systematic review and meta-analysis of human and animal studies. *Environ Pollut*. 2021;282:116592. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116592>

56. Zilberlicht A, Wiener-Megnazi Z, Sheinfeld Y, Grach B, et al. Habits of cell phone usage and sperm quality - does it warrant attention? *Reprod BioMed Online*. 2015;31:421-6.
57. Zalata A, El-Samanoudy AZ, Shaalan D, El-Baiomy Y, Mostafa T. In vitro effect of cell phone radiation on motility, DNA fragmentation and clusterin gene expression in human sperm. *Int J Fertil Steril*. 2015;9:129-36.
58. De Iulius GN, Newey RJ, King BV, Aitken RJ. Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro. *PLoS One*. 2009;4:e6446. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006446>
59. Kesari K, Kumar S, Behari J. Mobile phone usage and male infertility in Wistar rats. *Indian J Exp Biol*. 2010;48:987-92.
60. Alkis ME, Akdag MZ, Dasdag S, Yegin K, Akpolat V. Single-strand DNA breaks and oxidative changes in rat testes exposed to radiofrequency radiation emitted from cellular phones. *Biotechnol Biotechnol Equip*. 2019;33:1733-40.
61. Gautam R, Singh KV, Nirala J, Murmu NN, et al. Oxidative stress-mediated alterations on sperm parameters in male Wistar rats exposed to 3G mobile phone radiation. *Andrologia*. 2019;51:e13201. <https://doi.org/10.1111/and.13201>
62. Yu G, Tang Z, Chen H, Chen Z, Wang L, Cao H, et al. Long-term exposure to 4G smartphone radiofrequency electromagnetic radiation diminished male reproductive potential by directly disrupting Spock3-MMP2- BTB axis in the testes of adult rats. *Sci Total Environ*. 2020;698:133860. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133860>
63. Andrašková S, Holovská K, Ševčíková Z, Andrejčáková Z, et al. The potential adverse effect of 2.45 GHz microwave radiation on the testes of prenatally exposed peripubertal male rats. *Histol Histopathol*. 2021;18402. <https://doi.org/10.14670/HH-18-402>
64. Houston BJ, Nixon B, McEwan KE, Martin JH, King BV, Aitken RJ, et al. Whole-body exposures to radiofrequency-electromagnetic energy can cause DNA damage in mouse spermatozoa via an oxidative mechanism. *Sci Rep*. 2019;9:17478. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53983-9>
65. Houston BJ, Nixon B, King B, Aitken RJ, De Iulius GN. Probing the origins of 1,800 MHz radio frequency electromagnetic radiation induced damage in mouse immortalized germ cells and spermatozoa *in vitro*. *Front Public Health*. 2018;6:270. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00270>
66. Kesari KK, Behari J. Evidence for mobile phone radiation exposure effects on reproductive pattern of male rats: role of ROS. *Electromagn Biol Med*. 2012;31:213-22.
67. Kumar S, Behari J, Sisodia R. Influence of electromagnetic fields on reproductive system of male rats. *Int J Radiat Biol*. 2013;89:147-54.
68. Pandey N, Giri S, Das S, Upadhaya P. Radiofrequency radiation (900 MHz)-induced DNA damage and cell cycle arrest in testicular germ cells in Swiss albino mice. *Toxicol Ind Health*. 2017;33:373-84.
69. Smith-Roe SL, Wyde ME, Stout MD, Winters JW, et al. Evaluation of the genotoxicity of cell phone radiofrequency radiation in male and female rats and mice following subchronic exposure. *Environ Mol Mutagen*. 2020;61:276-90.
70. Akdag M, Dasdag S, Canturk F, Akdag MZ. Exposure to non-ionizing electromagnetic fields emitted from mobile phones induced DNA damage in human ear canal hair follicle cells. *Electromagn Biol Med*. 2018;37:66-75.
71. Lai H. Genetic effects of non-ionizing electromagnetic fields. *Electromagn Biol Med*. 2021;40:264-73.
72. Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, Henshel D, et al. Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. *Electromagn Biol Med*. 2016;35:186-202.
73. Barnes FS, Greenebaum B. The effects of weak magnetic fields on radical pairs. *Bioelectromagnetics*. 2015;36:45-54.
74. Panagopoulos DJ, Karabarbounis A, Margaritis LH. Mechanism for action of electromagnetic fields on cells. *Biochem Biophys Res Commun*. 2002;298:95-102.
75. Belyaev I. Biophysical mechanisms for nonthermal microwave effects. In: Markov MS, editor. *Electromagnetic fields in biology and medicine*. Boca Raton, London, New York: CRC Press; 2015. p. 49-68. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/mono/10.1201/b18148-9/biophysical-mechanisms-nonthermal-microwave-effects-marko-markov>
76. Friedman J, Kraus S, Hauptman Y, Schiff Y, Seger R. Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies. *Biochem J*. 2007;405:559-68.
77. Inoue M, Sato EF, Nishikawa N, Park A-M, et al. Mitochondrial generation of reactive oxygen species and its role in aerobic life. *Curr Med Chem*. 2003;10:2495-505.
78. Yakymenko I, Burlakaet A, Tsybulin I, Brieieva I, et al. Oxidative and mutagenic effects of low intensity GSM 1800 MHz microwave radiation. *Exp Oncol*. 2018;40:282-7.
79. Burlaka A, Tsybulin O, Sidorik E, Lukin S, et al. Overproduction of free radical species in embryonic cells exposed to low intensity radiofrequency radiation. *Exp Oncol*. 2013;35:219-25.
80. Alkis ME, Bilgin HM, Akpolat V, Dasdag S, et al. Effect of 900-, 1800-, and 2100-MHz radiofrequency radiation on DNA and oxidative stress in brain. *Electromagn Bio Med*. 2019;38:32-47.
81. Ding S-S, Sun P, Zhang Z, Liu X, et al. Moderate dose of trolox preventing the deleterious effects of Wi-fi radiation on spermatozoa in vitro through reduction of oxidative stress damage. *Chin Med J*. 2018;131:402-12.
82. Khalil AM, Gagaa MH, Alshamali AM. 8-Oxo-7, 8-dihydro-2'- deoxyguanosine as a biomarker of DNA damage by mobile phone radiation. *Hum Exp Toxicol*. 2012;31:734-40.
83. Xu S, Zhou Z, Zhang L, Yu Z, et al. Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation induces oxidative damage to mitochondrial DNA in primary cultured neurons. *Brain Res*. 2010;1311:189-96.
84. Güler G, Tomruk A, Ozjur E, Sahin D, et al. The effect of radiofrequency radiation on DNA and lipid damage in female and male infant rabbits. *Int J Radiat Biol*. 2012;88:367-73.
85. Bektas H, Dasdag S, Bektas MS. Comparison of effects of 2.4 GHz Wi-fi and mobile phone exposure on human placenta and cord blood. *Biotechnol Biotechnol Equip*. 2020;34:154-62.
86. Halliwell B. Biochemistry of oxidative stress. *Biochem Soc Trans*. 2007;35:1147-50.

87. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC monograph, a review of human carcinogens: radiation. Lyon, France, volume 100D; 2012. p. 1-363. <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Radiation-2012>
88. Smith MT, Guyton KZ, Gibbons CF, Fritz JM, Portier CJ, Rusyn I, et al. Key characteristics of carcinogens as a basis for organizing data on mechanisms of carcinogenesis. *Environ Health Perspect.* 2016;124:713-21.
89. D'Andrea JA, Gandhi OP, Lords JL. Behavioral and thermal effects of microwave radiation at resonant and nonresonant wavelengths. *Radio Sci.* 1977;12:251-6.
90. D'Andrea JA, Thomas A, Hatcher DJ. Rhesus monkey behavior during exposure to high-peak-power 5.62-GHz microwave pulses. *Bioelectromagnetics.* 1994;15:163-72.
91. D'Andrea JA, Gandhi OP, Lords JL, Durney CH, Johnson CC, Astle L. Physiological and behavioral effects of chronic exposure to 2450-MHz microwaves. *J Microw Power.* 1979;14:351-62.
92. D'Andrea JA, DeWitt JR, Emmerson RY, Bailey C, Gandhi OP. Intermittent exposure of rats to 2450 MHz microwaves at 2.5 mW/cm<sup>2</sup>: behavioral and physiological effects. *Bioelectromagnetics.* 1986;7:315-28.
93. Belyaev I. Duration of exposure and dose in assessing nonthermal biological effects of microwaves. In: Markov M, editor. *Dosimetry in bioelectromagnetics.* Boca Raton, London, New York: CRC Press; 2017. p. 171-84. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781315154572-9/duration-exposure-dose-assessing-nonthermal-biological-effects-microwaves-igor-belyaev>
94. Belyaev IY, Alipov YD, Shcheglov VS, Polunin VA, Aizenberg OA. Cooperative response of *Escherichia coli* cells to the resonance effect of millimeter waves at super low intensity. *Electro- Magnetobiol.* 1994;13:53-66.
95. Tillmann T, Ernst H, Streckert J, Zhou Y, Taugner F, Hansen V, et al. Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model. *Int J Radiat Biol.* 2010;86:529-41.
96. Lerchl A, Klose M, Grote K, Wilhelm AF, Spathmann O, Fiedler T, et al. Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans. *Biochem Biophys Res Commun.* 2015;459:585-90.
97. Baohong W, Jiliang H, Lifan J, et al. Studying the synergistic damage effects induced by 1.8 GHz radiofrequency field radiation (RFR) with four chemical mutagens on human lymphocyte DNA using comet assay in vitro. *Mutat Res.* 2005;578:149-57.
98. Baohong W, Lifan J, Lanjuan L, et al. Evaluating the combinative effects on human lymphocyte DNA damage induced by ultraviolet ray C plus 1.8 GHz microwaves using comet assay in vitro. *Toxicol.* 2007;232:311-6.
99. Zhang MB, He JL, Jin LF, et al. Study of low-intensity 2450-MHz microwave exposure enhancing the genotoxic effects of mitomycin C using micronucleus test and comet assay in vitro. *Biomed Environ Sci.* 2002;15:283-90.
100. Kim JY, Hong SY, Lee YM, et al. In vitro assessment of clastogenicity of mobile-phone radiation (835 MHz) using the alkaline comet assay and chromosomal aberration test. *Environ Toxicol.* 2008;23:319-27.
101. Lameth J, Arnaud-Cermos D, Lévêque P, et al. Effects of a single head exposure to GSM-1800 MHz signals on the transcriptome profile in the rat cerebral cortex: enhanced gene responses under proinflammatory conditions. *Neurotox Res.* 2020;38:105-23.
102. López-Martin E, Bregains J, Relova-Quintero JL, et al. The action of pulse-modulated GSM radiation increases regional changes in brain activity and c-Fos expression in cortical and subcortical areas in a rat model of picrotoxin-induced seizure proneness. *J Neurosci Res.* 2009;87:1484-99.
103. Carballo-Quintás M, Martínez-Silva I, Cardarso-Suárez C, et al. A study of neurotoxic biomarkers, c-fos and GFAP after acute exposure to GSM radiation at 900 MHz in the picrotoxin model of rat brains. *Neurotoxicology.* 2011;32:478-94.
104. Kostoff RN, Heroux P, Aschner M, Tsatsakis A. Adverse health effects of 5G mobile networking technology under real-life conditions. *Toxicol Lett.* 2020;323:35-40.
105. Neufeld E, Kuster N. Systematic derivation of safety limits for time-varying 5G radiofrequency exposure based on analytical models and thermal dose. *Health Phys.* 2018;115:705-11.
106. Panagopoulos DJ, Karabaarbounis A, Yakymenko I, Chrousos GP. Human-made electromagnetic fields: ion forced-oscillation and voltage-gated ion channel dysfunction, oxidative stress and DNA damage (review). *Int J Oncol.* 2021;59(92). <https://doi.org/10.3892/ijo.2021.5272>
107. Pakhomov AG, Murphy MB. Comprehensive review of the research on biological effects of pulsed radiofrequency radiation in Russia and the former Soviet Union. In: Lin JC, editor. *Advances in electromagnetic fields in living system*, vol. 3. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers; 2000. p. 265-90. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-4203-2\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-4203-2_7)
108. Blackman CF. Cell phone radiation: evidence from ELF and RF studies supporting more inclusive risk identification and assessment. *Pathophysiology.* 2009;16:205-16.
109. Food and Drug Administration (FDA). Review of published literature between 2008 and 2018 of relevance to radiofrequency radiation and cancer; 2020. Available at <https://www.fda.gov/media/135043/download>
110. Zada G, Bond AE, Wang Y-P, Giannotta SL, Deapne D. Incidence trends in the anatomic location of primary malignant brain tumors in the United States:1992-2006. *World Neurosurg.* 2012;77:518-24.
111. Philips A, Henshaw DL, Lamburn G, O'Carroll MJ. Brain Tumours: rise in Glioblastoma Multiforme incidence in England 1995-2015 suggests an adverse environmental or lifestyle factor. *J Environ Public Health.* 2018;7910754. <https://doi.org/10.1155/2018/7910754>
112. Hardell L, Carlberg M. Mobile phones, cordless phones and rates of brain tumors in different age groups in the Swedish National Inpatient Register and the Swedish cancer register during 1998-2015. *PLoS One.* 2017;12:e0185461. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185461>
113. Johansen C, Boice J, McLaughlin J, Olsen J. Cellular telephones and cancer--a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst.* 2001;93:203-7.

114. Söderqvist F, Carlberg M, Hardell L. Review of four publications on the Danish cohort study on mobile phone subscribers and risk of brain tumors. *Rev Environ Health*. 2012;27:51-8.
115. Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Hansson MK. Pooled analysis of case-control studies on acoustic neuroma diagnosed 1997-2003 and 2007-2009 and use of mobile and cordless phones. *Int J Oncol*. 2013;43:1036-44.
116. Hardell L, Carlberg M. Mobile phone and cordless phone use and the risk for glioma – analysis of pooled case-control studies in Sweden, 1997-2003 and 2007-2009. *Pathophysiology*. 2015;22:1-13.
117. Interphone Study Group. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Int J Epidemiol*. 2010;39:675-94.
118. Coureau G, Bouvier G, Lebaillly P, Fabbro-Peray P, Gruber A, Leffondre K, et al. Mobile phone use and brain tumours in the CERENAT case-control study. *Occup Environ Med*. 2014;71:514-22.
119. Interphone Study Group. Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Cancer Epidemiol*. 2011;35:453-64.
120. Hardell L, Carlberg M. Use of mobile and cordless phones and survival of patients with glioma. *Neuroepidemiology*. 2013;40:101-8.
121. Akhavan-Sigari R, Baf MM, Ariabod V, Rohde V, Rahighi S. Connection between cell phone use, p53 gene expression in different zones of glioblastoma multiforme and survival prognoses. *Rare Tumors*. 2014;6:5350. <https://doi.org/10.4081/rt.2014.5350>
122. Moon IS, Kim BG, Kim J, Lee JD, Lee WS. Association between vestibular schwannomas and mobile phone use. *Tumour Biol*. 2014;35:581-7.
123. Sato Y, Akiba S, Kubo O, Yamaguchi N. A case-case study of mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Bioelectromagnetics*. 2011;32:85-93.
124. Pettersson D, Mathiesen T, Prochazka M, Bergenheim T, Florentzson R, Harder H, et al. Long-term mobile phone use and acoustic neuroma risk. *Epidemiology*. 2014;25:233-41.
125. Schoemaker MJ, Swerdlow AJ, Ahlbom A, Avinen A, Blaasaas KG, Cardis E, et al. Mobile phone use and risk of acoustic neuroma: results of the Interphone case-control study in five north European countries. *Br J Cancer*. 2005;93:842-8.
126. Momoli F, Siemiatycki J, McBride ML, Parent ME, Richardson L, Bedard D, et al. Probabilistic multiple-bias modelling applied to the Canadian data from the INTERPHONE study of mobile phone use and risk of glioma, meningioma, acoustic neuroma, and parotid gland tumors. *Am J Epidemiol*. 2017;186:885-93.
127. Luo J, Deziel NC, Huang H, Chen Y, Ni X, Ma S, et al. Cell phone use and risk of thyroid cancer: a population-based case-control study in Connecticut. *Ann Epidemiol*. 2019;29:39-45.
128. Luo J, Li H, Deziel NC, Huang H, Zhao N, Ma S, et al. Genetic susceptibility may modify the association between cell phone use and thyroid cancer: a population-based case-control study in Connecticut. *Environ Res*. 2020;182:109013. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109013>
129. Carlberg M, Hedendahl L, Ahonen M, Koppel T, Hardell L. Increasing incidence of thyroid cancer in the Nordic countries with main focus on Swedish data. *BMC Cancer*. 2016;16:426. <https://doi.org/10.1186/s12885-016-2429-4>
130. Carlberg M, Koppel T, Hedendahl LK, Hardell L. Is the increasing incidence of thyroid cancer in the Nordic countries caused by use of mobile phones? *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(23):9129. <https://doi.org/10.3390/ijerph17239129>
131. Shih YW, Hung CS, Huang CC, Chou KR, Niu SF, et al. The association between smartphone use and breast cancer risk among Taiwanese women: a case-control study. *Cancer Manag Res*. 2020;12:10799-807. <https://doi.org/10.2147/CMAR.S267415>
132. Gandhi OP, Lazzi G, Furse CM. Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz. *IEEE Trans Microw Theory Tech*. 1996;44:1884-97.
133. Gandhi OP, Morgan L, de Salles AA, Han YY, Herberman RB, Davis DL. Exposure limits: the underestimation of absorbed cell phone radiation, especially in children. *Electromagn Biol Med*. 2012;31:34-51.
134. Fernández-Rodríguez CE, de Salles AA, Davis DL. Dosimetric simulations of brain absorption of mobile phone radiation – the relationship between psSAR and age. *IEEE Access*. 2015;3:2425-30.
135. Fernández-Rodríguez C, de Salles AA. On the sensitivity of the skull thickness for the SAR assessment in the intracranial tissues, 2016 IEEE MTT-S Latin America microwave conference (LAMC); 2016. <https://doi.org/10.1109/LAMC.2016.7851256>
136. Fernández C, de Salles AA, Sears ME, Morris RD, Davis DL. Absorption of wireless radiation in the child versus adult brain and eye from cell phone conversation or virtual reality. *Environ Res*. 2018;167:694-9. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.05.013>
137. Christ A, Gosselin MC, Christopoulou M, Kühn S, Kuster N. Age-dependent tissue-specific exposure of cell phone users. *Phys Med Biol*. 2010;55:1767-83.
138. Foster KR, Chou CK. Response to "children absorb higher doses of radio frequency electromagnetic radiation from mobile phones than adults" and "yes the children are more exposed to radiofrequency energy from mobile telephones than adults". *IEEE Access*. 2016;4:5322-6.
139. de Salles AA, Bulla G, Fernández-Rodríguez CE. Electromagnetic absorption in the head of adults and children due to mobile phone operation close to the head. *Electromagn Biol Med*. 2006;25:349-60.
140. Peyman A, Gabriel C, Gran EH, Vermeeren G, Martens L. Variation of the dielectric properties of tissues with age: the effect on the values of SAR in children when exposed to walkie-talkie devices. *Phys Med Biol*. 2009;2009(54):227-41.
141. Blondin JP, Nguyen DH, Sbeghen J, Goulet D, et al. Human perception of electric fields and ion currents associated with high-voltage DC transmission lines. *Bioelectromagnetics*. 1996;17:230-41.
142. Leitgeb N, Schroettner J. Electric current perception study challenges electric safety limits. *J Med Eng Technol*. 2002;26:168-72.
143. Leitgeb N, Schroettner J, Cech RJ. Electric current perception of children: the role of age and gender. *Med. Eng Technol*. 2006;30:306-9.

144. Leitgeb N, Schröttner J, Cech R. Perception of ELF electromagnetic fields: excitation thresholds and inter-individual variability. *Health Phys.* 2007;92:591-5.
145. McCarty DE, Carrubba S, Chesson AL, Frlot C, et al. Electromagnetic hypersensitivity: evidence for a novel neurological syndrome. *Int J Neurosci.* 2011;121:670-6.
146. Hinrikus H, Parts M, Lass J, Tuulik V. Changes in human EEG caused by low level modulated microwave stimulation. *Bioelectromagnetics.* 2004;2004(25):431-40.
147. Hinrikus H, Bachmann M, Lass J, et al. Effect of low frequency modulated microwave exposure on human EEG: individual sensitivity. *Bioelectromagnetics.* 2008;29:527-38.
148. Mueller CH, Krueger H, Schierz C. Project NEMESIS: perception of a 50 Hz electric and magnetic field at low intensities (laboratory experiment). *Bioelectromagnetics.* 2002;23:26-36.
149. Legros A, Beuter A. Individual subject sensitivity to extremely low frequency magnetic field. *Neurotoxicology.* 2006;27:534-46.
150. Kimata H. Microwave radiation from cellular phones increases allergen-specific IgE production. *Allergy.* 2005;60:838-9.
151. Rea WJ, Pan Y, Fenyves EJ, Sujisawa I, et al. Electromagnetic field sensitivity. *J Bioelectricity.* 1991;10:24-56.
152. Belpomme D, Irigaray P. Electrohypersensitivity as a newly identified and characterized neurologic pathological disorder: how to diagnose, treat, and prevent it. *Int J Mol Sci.* 2020;21:1915. <https://doi.org/10.3390/ijms21061915>
153. Stein Y, Udasin IG. Electromagnetic hypersensitivity (EHS, microwave syndrome) - review of mechanisms. *Environ Res.* 2020;186:109445. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109445>
154. Hagström M, Auranen J, Ekman R. Electromagnetic hypersensitive Finns: symptoms, perceived sources and treatments, a questionnaire study. *Pathophysiology.* 2013;20:117-22.
155. Belyaev I, Dean A, Eger H, Hubmann G, et al. European EMF guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illness. *Rev Environ Health.* 2016;31:363-97.
156. Austrian Medical Association. Guideline of the Austrian medical association for the diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses (EMF syndrome); 2012. Available at <https://vagbrytaren.org/Guideline%20%20AG-EMF.pdf>
157. Hardell L, Koppel T. Electromagnetic hypersensitivity close to mobile phone base stations - a case study in Stockholm, Sweden. *Rev Environ Health.* 2022. <https://doi.org/10.1515/revh-2021-0169>
158. Havas M. Radiation from wireless technology affects the blood, the heart, and the autonomic nervous system. *Rev Environ Health.* 2013;2013(28):75-84.
159. Leitgeb N, Schröttner J. Electrosensitivity and electromagnetic hypersensitivity. *Bioelectromagnetics.* 2003;24:387-94.
160. Deshmukh PS, Banerjee BD, Abegaonkar MP, Megha K, et al. Effect of low level microwave radiation exposure on cognitive function and oxidative stress in rats. *Indian J Biochem Biophys.* 2013;50:114-9.
161. Everaert J, Bauwens D. A possible effect of electromagnetic radiation from mobile phone base stations on the number of breeding house sparrows (*Passer domesticus*). *Electromagn Biol Med.* 2007;26:63-72.
162. Megha K, Deshmukh PS, Banerjee BD, et al. Microwave radiation induced oxidative stress, cognitive impairment and inflammation in brain of Fischer rats. *Indian J Exp Biol.* 2012;50:889-96.
163. Narayanan SN, Kumar RS, Potu BK, Nayak S. Effect of radio-frequency electromagnetic radiations (RF-EMR) on passive avoidance behaviour and hippocampal morphology in Wistar rats. *Ups J Med Sci.* 2010;115:91-6.
164. Narayanan SN, Kumar RS, Paval J, Kedage V, et al. Analysis of emotionality and locomotion in radio-frequency electromagnetic radiation exposed rats. *Neurol Sci.* 2013;34:1117-24.
165. Narayanan SN, Kumar RS, Kedage V, Nalini K, et al. Evaluation of oxidative stress and antioxidant defense in discrete brain regions of rats exposed to 900 MHz radiation. *Bratisl Lek Listy.* 2014;115:260-6.
166. Cammaerts MC, De Doncker P, Patris X, Bellens F, Rachidi Z, Cammaerts D. GSM 900 MHz radiation inhibits ants' association between food sites and encountered cues. *Electromagn Biol Med.* 2012;31:151-65.
167. Balmori A, Hallberg O. The urban decline of the house sparrow (*Passer domesticus*): a possible link with electromagnetic radiation. *Electromagn Biol Med.* 2007;26:141-51.
168. Balmori A. Mobile phone mast effects on common frog (*Rana temporaria*) tadpoles: the city turned into a laboratory. *Electromagn Biol Med.* 2010;29:31-5.
169. Aldad TS, Gan G, Gao XB, Taylor HS. Fetal radiofrequency radiation exposure from 800-1900 MHz-rated cellular telephones affects neurodevelopment and behavior in mice. *Sci Rep.* 2012;2:312. <https://doi.org/10.1038/srep00312>
170. Nittby H, Grafström G, Tian DP, Malmgren L, et al. Cognitive impairment in rats after long-term exposure to GSM-900 mobile phone radiation. *Bioelectromagnetics.* 2008;29:219-32.
171. Ntzouni MP, Stamatakis A, Stylianopoulou F, Margaritis LH. Short-term memory in mice is affected by mobile phone radiation. *Pathophysiology.* 2011;18:193-9.
172. Saikhedkar N, Bhatnagar M, Jain A, Sukhwil P, et al. Effects of mobile phone radiation (900 MHz radiofrequency) on structure and functions of rat brain. *Neurol Res.* 2014;36:1072-9.
173. Rubin GJ, Nieto-Hernandez R, Wessely S. Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (formerly 'electromagnetic hypersensitivity'): an updated systematic review of provocation studies. *Bioelectromagnetics.* 2010;31:1-11.
174. Markova E, Hillert L, Malmgren L, Persson BRR, Belyaev IY. Microwaves from GSM mobile telephones affect 53BP1 and gamma-H2AX foci in human lymphocytes from hypersensitive and healthy persons. *Environ Health Perspect.* 2005;113:1172-7.
175. Markova E, Malmgren LO, Belyaev IY. Microwaves from mobile phones inhibit 53BP1 focus formation in human stem cells more strongly than in differentiated cells: possible mechanistic link to cancer risk. *Environ Health Perspect.* 2010;118:394-9.
176. Belyaev IY, Markova E, Hillert L, Malmgren LOG, Persson BRR. Microwaves from UMTS/GSM mobile phones induce long-lasting inhibition of 53BP1/gamma-H2AX DNA repair foci in human lymphocytes. *Bioelectromagnetics.* 2009;2009(30):129-41.

177. Gulati S, Kosik P, Durdik M, Skorvaga M, et al. Effects of different mobile phone UMTS signals on DNA, apoptosis and oxidative stress in human lymphocytes. *Environ Pollut.* 2020;267:115632. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115632>
178. Dieudonné M. Does electromagnetic hypersensitivity originate from placebo responses? Indications from a qualitative study. *Bioelectromagnetics.* 2016;37:14-24.
179. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). General approach to protection against non-ionizing radiation. *Health Phys.* 2002;82:540-8.
180. World Health Organization (WHO). Electromagnetic fields and public health. Electromagnetic hypersensitivity; 2005. <https://web.archive.org/web/20220423095028/https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/radiation-and-health/non-ionizing/el-hsensitivity>
181. Havas M. Electrohypersensitivity (EHS) is an environmentally- induced disability that requires immediate attention. *J Sci Discov.* 2019;3(1):jsd18020. <https://doi.org/10.24262/jsd.3.1.18020>
182. US Environmental Protection Agency (US EPA). A review of the reference dose (RfD) and reference concentration (RfC) process. Risk assessment forum. EPA/630/P-02/002F. Washington, DC; 2002. Available at: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-12/documents/rfd-final.pdf>
183. International Council for Harmonization (ICH). Impurities: guidelines for residual solvents Q3C(R7); 2018. Available at: <https://www.pmda.go.jp/files/000231003.pdf>
184. Dankovic DA, Naumann BD, Maier A, Dourson ML, Levy LS. The scientific basis of uncertainty factors used in setting occupational exposure limits. *J Occup Environ Hyg.* 2015;12:S55-68.
185. Uche UI, Naidenko OV. Development of health-based exposure limits for radiofrequency radiation from wireless devices using a benchmark dose approach. *Environ Health.* 2021;20:84. <https://doi.org/10.1186/s12940-021-00768-1>
186. Peleg M, Naativ O, Richter ED. Radio frequency radiation-related cancer: assessing causation in the occupational/military setting. *Environ Res.* 2018;163:123-33.
187. Gong Y, Capstick M, McCormick DL, Gauger JR, Horn T, Wilson P, et al. Life time dosimetric assessment for mice and rats exposed to cell phone radiation. *IEEE Trans Electromagn Compat.* 2017;59:1798-808.
188. Alvarez-Buylla A, Lim DA. For the long run: maintaining germinal niches in the adult brain. *Neuron.* 2004;41:683-6.
189. Levitt BB, Lai HC, Manville AM. Effects of non-ionizing electromagnetic fields on flora and fauna, part 1. Rising ambient EMF levels in the environment. *Rev Environ Health.* 2021. <https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0026>
190. Levitt BB, Lai HC, Manville AM. Effects of non-ionizing electromagnetic fields on flora and fauna, part 2 impacts: how species interact with natural and man-made EMF. *Rev Environ Health.* 2021. <https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0050>
191. Moller A, Sagasser S, Wiltschko W, Schierwater B. Retinal cryptochrome in a migratory passerine bird: a possible transducer for the avian magnetic compass. *Naturwissenschaften.* 2004;91:585-8.
192. Heyers D, Manns M, Luksch H, Güntürkün O, Mouritsen H. A visual pathway links brain structures active during magnetic compass orientation in migratory birds. *PLoS One.* 2007;2:e937. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000937>
193. Collett TS, Barron J. Biological compasses and the coordinate frame of landmark memories in honeybees. *Nature.* 1994;386:137-40.
194. Holland RA, Kirschvink JL, Doak TG, Wikelski M. Bats use magnetoreception to detect the earth's magnetic field. *PLoS One.* 2008;3:e1676. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001676>
195. Putman NF, Scanlan MM, Billman EJ, O'Neil JP, Couture RB, Quinn TP, et al. An inherited magnetic map guides ocean navigation in juvenile pacific salmon. *Curr Biol.* 2014;24:446-50.
196. Putman NF, Williams CR, Gallagher EP, Dittman AH. A sense of place: pink salmon use a magnetic map for orientation. *J Exp Biol.* 2020;223:218735. <https://doi.org/10.1242/jeb.218735>
197. Quinn TP, Merrill RT, Brannon EL. Magnetic field detection in sockeye salmon. *J Exp Zool.* 1981;217:137-42.
198. Kalmijn AJ. Electric and magnetic field detection in elasmobranch fishes. *Science.* 1982;198(218):916-8
199. Engels S, Schneider NL, Lefeldt N, Hein CM, Zapka M, Michalik A, et al. Anthropogenic electromagnetic noise disrupts magnetic compass orientation in a migratory bird. *Nature.* 2014;509:353-6
200. Pakhomov A, Bojarinova J, Cherbunin R, Chetverikova R, Grigoryev PS, Kavokin K, et al. Very weak oscillating magnetic field disrupts the magnetic compass of songbird migrants. *J R Soc Interface.* 2017;14:20170364. <https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0364>
201. Schwarze S, Schneibder NL, Reichl T, Dreyer D, Lefeldt N, Engels S, et al. Weak broadband electromagnetic fields are more disruptive to magnetic compass orientation in a night-migratory songbird (*Erithacus rubecula*) than strong narrow-band fields. *Front Behav Neurosci.* 2016;10:55. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2016.00055>
202. Wiltschko R, Thalau P, Gehring D, Nießner C, Ritz T, Wiltschko W. Magnetoreception in birds: the effect of radio-frequency fields. *J R Soc Interface.* 2015;12:20141103. <https://doi.org/10.1098/rsif.2014.1103>
203. Landler L, Painter MS, Youmans PW, Hopkins WA, Phillips JB. Spontaneous magnetic alignment by yearling snapping turtles: rapid association of radio frequency dependent pattern of magnetic input with novel surroundings. *PLoS One.* 2015;10:e0124728. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124728>
204. Putman NF, Meinke AM, Noakes DL. Rearing in a distorted magnetic field disrupts the 'map sense' of juvenile steelhead trout. *Biol Lett.* 2014;10:20140169. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0169>
205. Sharma VP, Kumar NR. Changes in honeybee behaviour and biology under the influence of cellphone radiations. *Curr Sci.* 2010;98:1376-8.
206. Odemer R, Odemer F. Effects of radiofrequency electromagnetic radiation (RF-EMF) on honey bee queen development and mating success. *Sci Total Environ.* 2019;661:553-62.

207. Gabriel C, Lau RW, Gabriel S. The dielectric properties of biological tissues: II. Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz. *Phys Med Biol*. 1996;41:2251-69.
208. Gandhi O, Razi A. Absorption of millimeter waves by human beings and its biological implications. *IEEE Trans Microw Theory Tech*. 1986;34:228-35.
209. Thielens A, Bell D, Mortimore DB, Greco MK, Martens L, Joseph W. Exposure of insects to radio-frequency electromagnetic fields from 2 to 120 GHz. *Sci Rep*. 2018;8(1):3924. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22271-3>
210. Pretz K. Will 5G be bad for our health? *IEEE Spectr*. 2019; <https://spectrum.ieee.org/will-5g-be-bad-for-our-health>
211. Neufeld E, Carrasco E, Murbach M, Balzano Q, Christ A, Kuster N. Theoretical and numerical assessment of maximally allowable power-density averaging area for conservative electromagnetic exposure assessment above 6 GHz. *Bioelectromagnetics*. 2018;39:617-30.
212. Foster KR, Ziskin MC, Balzano Q. Thermal response of human skin to microwave energy: a critical review. *Health Phys*. 2016;111:528-41.
213. Anderson RR, Parrish JA. The optics of human skin. *J Invest Dermatol*. 1981;77:13-9.
214. Meinhardt M, Kerbs R, Anders A, Heinrich U, Tronnier H. Wavelength- dependent penetration depths of ultraviolet radiation in human skin. *J Biomed Opt*. 2008;13:044030. <https://doi.org/10.1117/1.2957970>
215. Pakhomov AG, Akyel Y, Pakhomova ON, Stuck BE, Murphy MR. Current state and implications of research on biological effects of millimeter waves: a review of the literature. *Bioelectromagnetics*. 1998;19:393-413.
216. Belyaev IY, Shcheglov VS, Alipov ED, Ushakov VD. Nonthermal effects of extremely high-frequency microwaves on chromatin conformation in cells in vitro - dependence on physical, physiological, and genetic factors. *IEEE Trans Microw Theory Tech*. 2000;48:2172-9.
217. Albanese R, Blaschak J, Medina R, Penn J. Ultrashort electromagnetic signals: biophysical questions, safety issues, and medical opportunities. *Aviat Space Environ Med*. 1994;65:A116-20.
218. Oughstun KE. Optimal pulse penetration in Lorentz-model dielectrics using the Sommerfeld and Brillouin precursors. *Opt Express*. 2015;23:26604-16.
219. Wood AW. What is the current status of research on mm-wave frequencies? -in relation to health; 2018. <https://slideplayer.com/slide/14592262/>
220. Blackman C, Forge S. 5G deployment: state of play in Europe, USA, and Asia. European Parliament; 2019. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2019/631060/IPOL\\_IDA\(2019\)631060\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2019/631060/IPOL_IDA(2019)631060_EN.pdf)
221. Regel SJ, Gottselig JM, Schuderer J, Tinguely G, et al. Pulsed radio frequency radiation affects cognitive performance and the waking electroencephalogram. *NeuroReport*. 2007;18:803-7.
222. Thomas JR, Schrot J, Banvard RA. Comparative effects of pulsed and continuous-wave 2.8-GHz microwaves on temporally defined behavior. *Bioelectromagnetics*. 1982;3:227-35.
223. Creighton MO, Larsen LE, Stewart-DeHaan PJ, Jacobi JH, et al. In vitro studies of microwave-induced cataract. II. Comparison of damage observed for continuous wave and pulsed microwaves. *Exp Eye Res*. 1987;45:357-73.
224. Czernska EM, Elson EC, Davis CC, Swicord ML, Czernski P. Effects of continuous and pulsed 2450-MHz radiation on spontaneous lymphoblastoid transformation of human lymphocytes in vitro. *Bioelectromagnetics*. 1992;13:247-59.
225. El Khoueiry C, Moretti D, Renom R, Camera F, Orlacchio R, Garenne A, et al. Decreased spontaneous electrical activity in neuronal networks exposed to radiofrequency 1,800 MHz signals. *J Neurophysiol*. 2018;120:2719-29.
226. Mohammed HS, Fahmy HM, Radwan NM, Elsayed AA. Non-thermal continuous and modulated electromagnetic radiation fields effects on sleep EEG of rats. *J Adv Res*. 2013;4:181-7.
227. Blank M, Havas M, Kelley E, Lai H, Moskowitz J. International appeal: scientists call for protection from non-ionizing electromagnetic field exposure. *Eur J Oncol Environ Health*. 2015;20:180-2 Available from: <https://mattioli1885journals.com/index.php/EJOEH/article/view/4971>
228. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC monograph, a review of human carcinogens: arsenic, metals, Fibres, and dusts. Lyon, France, volume 100C; 2012. p. 1-527. <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Arsenic-Metals-Fibres-And-Dusts-2012>
229. Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to electric, magnetic, and electromagnetic fields, 0 Hz to 300 GHz. IEEE Std C95.1™. New York: IEEE; 2019. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8859679>
230. Bandara P, Carpenter DO. Planetary electromagnetic pollution: it is time to assess its impact. *Lancet Planet Health*. 2018;2:e512-4. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30221-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30221-3)

#### Publisher's Note

Springer Nature bleibt neutral in Bezug auf juristische Ansprüche in veröffentlichten Karten und institutionelle Zugehörigkeiten.