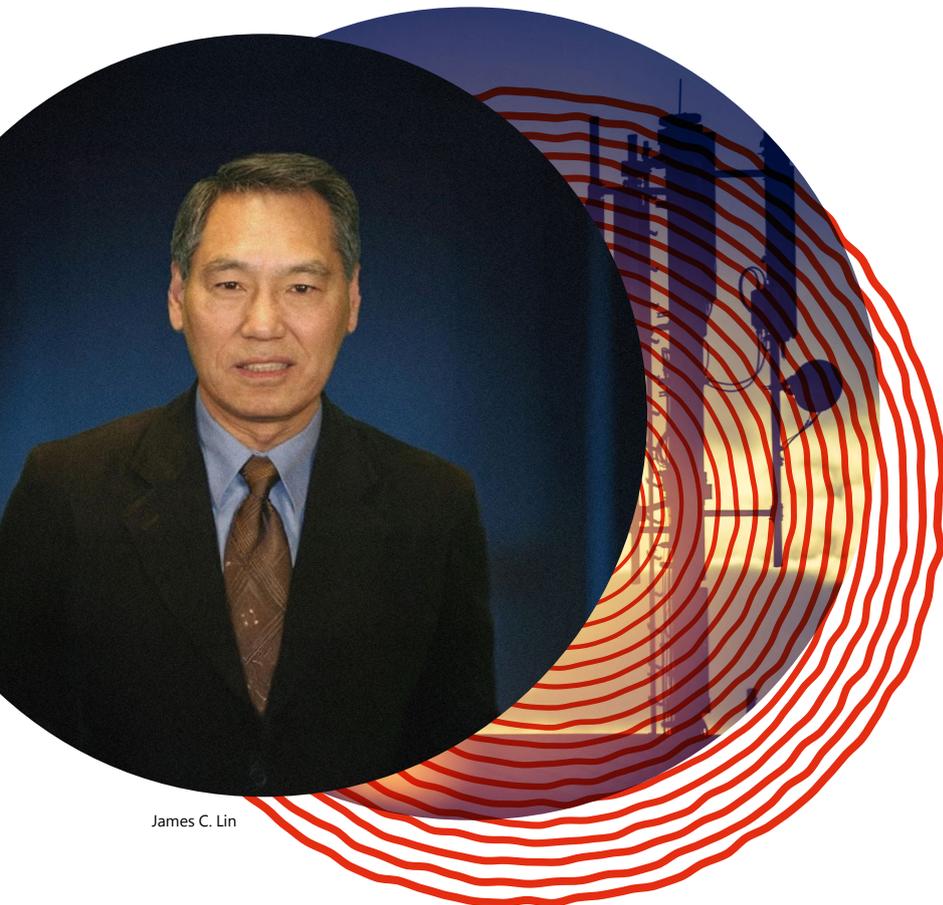


Geltende Mobilfunkgrenzwerte sind ungeeignet, die Bevölkerung umfassend zu schützen

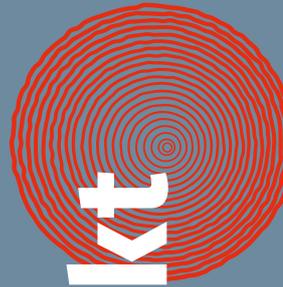
Mobilfunk ist praktisch und inzwischen fast überall verfügbar. Folglich ist auch Mobilfunkstrahlung fast überall vorhanden: in den Städten, auf dem Land, bei der Arbeit und in unseren Wohnungen. Strahlungsgrenzwerte sollen uns vor den gesundheitlichen Auswirkungen schützen. Doch nun kritisiert Prof. Dr. James C. Lin, einer der führenden Strahlungsexperten, die zugrundeliegenden Grenzwertempfehlungen scharf: Sie „sind umstritten“ und „wissenschaftlich nicht begründet“, „versäumen eine wirksame Risikovorsorge und missachten zentrale Prinzipien des Strahlenschutzes.“ Die Grenzwerte ignorieren die „chronische Toxizität und Karzinogenität“ der Strahlung und seien somit „ungeeignet“, die Bevölkerung zuverlässig zu schützen.

Auch aktuelle, von der WHO beauftragte Studien zu den biologischen Wirkungen der Mobilfunkstrahlung bewertet Lin negativ: Er spricht von einer „mangelnden wissenschaftlichen Qualität und der unausgewogenen Darstellung“, er kritisiert „eine erkennbare Voreingenommenheit“ der Studienautoren. Sie würden folglich die Gesundheitsrisiken verharmlosen.

Lins Artikel liegt als deutsche Übersetzung in diesem Brennpunkt vor.



James C. Lin



brennpunkt

AUSGABE SEPTEMBER 2025

Impressum

brennpunkt: Ausgabe September 2025
Online Veröffentlichung auf
www.diagnose-funk.org

Bestellung Printausgabe:

shop.diagnose-funk.org/brennpunkt
Bestellnr. 252
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

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

Unterstützen Sie diagnose:funk

Online spenden:
www.diagnose-funk.org/unterstuetzen

Spendenkonto Diagnose-Funk e.V.

IBAN: DE39 4306 0967 7027 7638 00
BIC: GENODEM1GLS | GLS Bank

Inhaltsverzeichnis

Vorwort diagnose:funk	3
Gesundheits- und Sicherheitspraktiken sowie Richtlinien zur menschlichen Exposition gegenüber Hochfrequenz-/Mikrowellenstrahlung	9
Einleitung	9
Ein historischer Überblick über die Normen für die Exposition gegenüber HF-Strahlung	10
Aktuelle Sicherheitsstandards und Richtlinien	11
Bewertung der überarbeiteten Grenzwerte für den Gesundheitsschutz	12
Ablehnung der Ergebnisse von IARC, NTP und Ramazzini	13
Die Standards sind unpräzise und betreffen nur kurzfristige HF-Expositionen	14
Ein Komplex aus Industrie und Regulierung	15
Systematische Übersichtsarbeiten des WHO-EMF-Projekts	18
Ein Paradigmenwechsel	20
Diskussion und Schlussfolgerung	22
Referenzen	24

Geltende Mobilfunkgrenzwerte sind ungeeignet, die Bevölkerung zu schützen

Grenzwertempfehlungen „wissenschaftlich nicht begründet“, „versäumen eine wirksame Risikovorsorge und missachten zentrale Prinzipien des Strahlenschutzes.“

(Prof. Dr. James C. Lin)

Vorwort von diagnose:funk

Die Debatte, ob Mobilfunkstrahlung gesundheitsschädlich ist, wird heftig geführt, insbesondere, weil das EMF-Projektbüro der Weltgesundheitsorganisation (WHO) plant, eine Neubewertung der Gesundheitsrisiken vorzunehmen und dazu wissenschaftliche Stellungnahmen angefordert hat. Im Fokus steht das Krebspotenzial. Es hat eine große Bedeutung, denn weltweit sind 18 Milliarden Mobilfunkgeräte in Betrieb. Bei über 8 Milliarden Menschen wird jeder Mensch im Schnitt von 2-3 Geräten bestrahlt. Das Krebsrisiko betrifft also uns alle.

In seinem hier vorliegenden ausführlichen Artikel übt Prof. Dr. James C. Lin scharfe Kritik an den entwarnenden Studien zu verschiedenen medizinischen Endpunkten (u.a. Krebs, Fertilität, oxidativer Stress), die von Mitgliedern der Internationalen Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP) und von Mitarbeitenden des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) mit verfasst wurden. Er bemängelt den „Industrie-Regulierungs-Komplex“ aus Aufsichtsbehörden und der Telekommunikationsindustrie, der die Geschäfte der Industrie schütze auf Kosten der Gesundheit von Milliarden Menschen. Die ICNIRP und das BfS gehören auch zu diesem Komplex, so Lin.

Die Studienlage über gesundheitsschädliche Auswirkungen der Mobilfunkstrahlung wird immer aussagekräftiger, u.a. zum Krebspotenzial, zur Schädigung der Fruchtbarkeit, zum Gehirnstoffwechsel und zu oxidativem Zellstress. Die Studienlage wird industrieunabhängig dokumentiert u.a. in der diagnose:funk-Datenbank EMF:data, in der Fachzeitschrift ElektromogReport, auf dem Portal Microwave News, von der BioInitiative Working Group, von der International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields (ICBE-EMF) und in den diagnose:funk-Publikationen *ÜBERBLICK für den Durchblick*.

Die Diskussion um die Akzeptanz der Risiken der Mobilfunkstrahlung wird von den staatlichen Behörden mantrahhaft mit dem immer gleichen Argument abgeblockt: „Die Grenzwerte schützen vor Schäden durch Erwärmung. Es gibt keine Forschungsergebnisse, die unter-

halb der Grenzwerte Gesundheitsrisiken nachweisen.“ Ende der Diskussion. Auch Gerichte weisen Klagen mit diesem Argument ab. Begründet wird diese Behauptung mit der Theorie, dass aus biophysikalischen Gründen die nicht-ionisierende Strahlung (NIS) des Mobilfunks keine Zellen schädigen könne, dazu habe sie nicht die erforderliche Energie.¹ Aus diesen Gründen bestehe kein Handlungsbedarf beim Strahlenschutz, denn die Grenzwerte würden allenthalben unterschritten. Hauptvertreter dieses Narrativs sind die ICNIRP und das BfS. Die ICNIRP ist ein privater Verein mit Sitz in Deutschland, dessen Grenzwertempfehlungen von fast allen westlichen Ländern übernommen wurden. In den Räumen der Außenstelle des BfS in Oberschleißheim hat die ICNIRP ihren Sitz. Das BfS stellt zudem den ICNIRP-Sekretär und finanziert die ICNIRP zu großen Teilen.

ICNIRP-Grenzwerte auf dem Prüfstand

Doch die aktuelle gesundheitspolitische Debatte über die Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder (HF-EMF) wird zunehmend von wissenschaftlichen Stimmen geprägt, die die Grundlagen der geltenden Grenzwerte – also die Empfehlungen der ICNIRP – infrage stellen. Eine dieser Stimmen ist die von James C. Lin, emeritierter Professor u.a. für Biophysik an der University of Illinois in Chicago. Er gilt als einer der international führenden Experten im Bereich der Bioelektromagnetik.² Lin war Herausgeber der Fachzeitschrift *Bioelectromagnetics* sowie langjähriges Mitglied des IEEE Committee on Man and Radiation (COMAR), Vorsitzender des IEEE International Committee on Electromagnetic Safety (ICES) und lange führendes Mitglied der ICNIRP. Lin wurde für seine herausragenden wissenschaftlichen Leistungen mit mehreren renommierten Preisen geehrt, darunter dem d'Arsonval Award der Bioelectromagnetics Society – der höchsten internationalen Auszeichnung auf diesem Gebiet – sowie dem IEEE Microwave Career Award 2025 der IEEE Microwave Theory and Techniques Society, mit dem außergewöhnliche Beiträge zur Mikrowellentheorie und -technologie gewürdigt werden.

In der hier vorliegenden (von diagnose:funk übersetzten) ausführlichen Analyse unterzieht Lin die ICNIRP-Grenzwertempfehlungen einer systematischen Kritik (Lin 2025a). Er behandelt dabei folgende Themen:

- Den Grad der Beteiligung des militärisch-industriellen Komplexes in den USA an der Förderung der Forschung zu biologischen Auswirkungen und der Festlegung von Sicherheitsstandards.
- Den Einfluss des Industrie-Regulierungs-Komplexes.
- Wichtige Laborergebnisse, die in den ICNIRP-Empfehlungen nicht berücksichtigt werden.
- Die Interaktion zwischen der ICNIRP, dem EMF-Projektbüro der WHO und dem deutschen Bundesamt für Strahlenschutz.
- Die jüngst veröffentlichten systematischen Übersichtsarbeiten, die von der EMF-Projektstelle der WHO in Auftrag gegeben wurden.
- Einige Beobachtungen zu einem offensichtlichen Paradigmenwechsel.

Scheinwissenschaftliche Grundlagen der Grenzwerte

Im Zentrum der Analyse von Lin steht, dass die ICNIRP das biologische Wirkmodell der Mobilfunkstrahlung auf den thermischen Effekt beschränkt. Die ICNIRP-Grenzwertempfehlungen basieren auf dem Anstieg der Gewebetemperatur durch HF-Absorption. Lin bezeichnet dies als einseitigen Fokus. Nicht-thermische Effekte – etwa oxidativer Stress oder zelluläre Stoffwechselstörungen – würden dadurch systematisch aus der Risikobewertung ausgeschlossen, obwohl eine Vielzahl unabhängiger Studien „schädliche biologische Reaktionen bei Expositionswerten unterhalb der von den Sicherheitsrichtlinien festgelegten Grenzwerte dokumentieren“ (S. 12).³ Besonders deutlich werde dies bei der Nichtberücksichtigung der Ergebnisse zweier großangelegter Tierstudien des US National Toxicology Program (NTP) und des Ramazzini-Instituts (Italien), die beide „konsistente Hinweise auf eine krebserzeugende Wirkung“ (S.14) zeigten. Sie werden ignoriert, obwohl z.B. „die Ergebnisse des NTP [...] weithin als Goldstandard für Studien zur Toxikologie und Tumorentstehung bei Tieren“ (S. 16) gelten, so Lin. Er kritisiert die ICNIRP-Grenzwertempfehlungen scharf:

„Die Empfehlungen versäumen eine wirksame Risikoversorge und missachten zentrale Prinzipien des Strahlenschutzes.“ (S. 15)

Der Ausschluss von Studien wird von der ICNIRP mit der längst widerlegten Theorie begründet, dass die nicht-ionisierende Strahlung aus biophysikalischen Gründen unschädlich sei und deshalb alle Studien, die trotzdem Schädigungseffekte finden, a priori fehlerhaft sein müssten (s. Anm. 1). Lin schreibt:

„Die Neigung, positive Ergebnisse zu kritisieren und zu leugnen und gleichzeitig der Eifer und die Bereitschaft, negative Ergebnisse zu akzeptieren, sind offensichtlich und beunruhigend. Sie tragen dazu bei, das weltweit

geäußerte Misstrauen gegenüber den aktuellen Richtlinien und Standards zur HF-Exposition zu verstärken.“ (S. 13)^{4, 5}

Zentral für Lins Kritik ist die Einschätzung, dass die aktuellen Expositionsgrenzwerte keine tragfähige wissenschaftliche Grundlage besitzen. Er moniert, dass die Grenzwerte auf „fehlerhaften Vermutungen statt wissenschaftlichen Beweisen“ (S. 14) beruhen und sich ausschließlich auf akute, kurzfristige Wärmeeinwirkungen stützen.⁶ Die Grenzwerte ignorierten die „chronische Toxizität und Karzinogenität von HF-Expositionen unterhalb der [...] festgelegten Basisgrenzwerte“ (S. 12). Die empirische Grundlage dieser Schwelle stamme aus Tierversuchen an „einigen wenigen trainierten Nagetieren und Primaten“⁷, während „die Anwendbarkeit der Grenzwerte für eine sichere Langzeitexposition [...] fraglich“ sei (S. 12).

Lin schlussfolgert: „Die Wirksamkeit und Sicherheit dieser Grenzwerte ist marginal und aus Sicht des Gesundheitsschutzes möglicherweise irrelevant“ (S. 11). Sie seien ungeeignet, die Bevölkerung – insbesondere vulnerable Gruppen wie Kinder oder chronisch Kranke – zuverlässig zu schützen. Als besonders gravierend kritisiert Lin, dass viele der aktuellen Normen auf einem wissenschaftlich fragwürdigen Harmonisierungskurs beruhen, der nicht den „aktuellen wissenschaftlichen Fortschritten beim Gesundheitsschutz Rechnung“ trägt (S. 11), sondern den Interessen der Industrie. Hier sei angemerkt, dass auch in der juristischen Dissertation von Anja Brückner (2022) die Grenzwerte als „untragbar“ bezeichnet werden, weil sie den Stand der Forschung nicht berücksichtigen.⁸

Kampf um die Deutungshoheit: Stellt die WHO die Weichen für die Industrie?

Die WHO plant bis 2029 eine Neubewertung der Einstufung nicht-ionisierender Strahlung, die bereits seit 2011 als „möglicherweise krebserregend“ gilt. Dafür hat die WHO die Wissenschaft aufgerufen, Übersichtsarbeiten (Reviews) einzureichen. Das ICNIRP-Netzwerk konzipierte zu einem erheblichen Anteil diesen Aufruf sowie die Forschungsprotokolle und ist an fast allen bislang eingereichten Reviews mit z.T. mehreren ICNIRP-Mitgliedern beteiligt.⁹ Das BfS dominiert personell deutlich bei zwei der Reviews.

Lins Analyse dieser systematischen Reviews fällt vernichtend aus: Eines sei „schwerwiegend fehlerhaft und inhaltlich nicht relevant“ (S. 18), die selektive Studienauswahl führe zu einer „Verzerrung der Ergebnisse zugunsten der Schlussfolgerung, es gebe keine überzeugenden Belege für andere Wirkungen als die durch Hochfrequenzstrahlung verursachte Gewebeerwärmung“ (S. 18). Ein weiteres Review zeige „erhebliche Mängel“ (S. 19), bei einem dritten Review „wurden 99,5% der relevanten Studien [...]“

nicht einbezogen“ (S. 19). Insgesamt spricht Lin von einer „mangelnden wissenschaftlichen Qualität und der unausgewogenen Darstellung“ (S. 20), er kritisiert „eine erkennbare Voreingenommenheit [...], geprägt von der festen Annahme, dass Hochfrequenz-Mikrowellenstrahlung ungefährlich sei“ (S. 20). Diese Reviews (mit einer Ausnahme) würden Risiken verharmlosen und das Vertrauen in das WHO-EMF-Projekt untergraben. Lin benennt führende Wissenschaftler, die die Rücknahme der fehlerhaften Reviews fordern.¹⁰

ICNIRP und Bundesamt für Strahlenschutz: Teil des Industrie-Regierungs-Komplexes

Prof. Lin benennt darüber hinaus strukturelle Interessenkonflikte. Er spricht von einem „Industrie-Regulierungs-Komplex“, der „auf die Erlangung unangemessenen Einflusses und politischer Macht abzielt, um regulatorische Entlastungen oder Unterstützungsmaßnahmen zugunsten der Industrie fortzuführen oder auszubauen“ (S. 15), wobei Industrievertreter „Machtpositionen in Regierungsbehörden“ erlangten (S. 15). Dieser Industrie-Komplex setze die Politik des militärisch-industriellen Komplexes der USA fort, der mit dem „thermischen Dogma“ die Grenzwerte für Soldaten in den 1950er- und 1960er Jahren ohne ausreichende wissenschaftliche Grundlagen festlegte. Es ging um die Rechtfertigung des Einsatzes von Mikrowellentechnologien (Funk) im Krieg. Dazu hat diagnose:funk die ausführliche historische Analyse von Tom Butler (Butler 2020) als Brennpunkt publiziert.

Lin belegt seine Kritik mit der personellen Durchdringung regulatorischer Gremien durch industrienahen Akteure; er bezeichnet dies als „Drehtür“:

„Vielleicht könnte das Netzwerk zwischen der US-Regierung und der Telekommunikationsindustrie ähnlich als ‚Industrie-Regulierungs-Komplex‘ bezeichnet oder umschrieben werden. Sie scheinen keine Mühen gescheut zu haben, um durch Vernetzung politischen Einfluss und Macht zu erlangen und die Regulierung der betroffenen Branchen fortzusetzen oder zu lockern. In diesem Zusammenhang sollte die ‚Drehtür‘, durch die führende Vertreter der Industrie in machtvollen Positionen innerhalb jener Regierungsbehörden gelangen, die eben diese Industrien regulieren, nicht unbeachtet bleiben. Ein Industrie-Regulierungs-Komplex kann politische Maßnahmen begünstigen, die dem Wohl der Bevölkerung nicht dienen – und damit die öffentliche Gesundheit gefährden.“ (S. 17).¹¹

Besonders deutlich werde dieser Sachverhalt in der US-Telekommunikationspolitik seit den 1990er Jahren, etwa bei der Rolle der Federal Communications Commission (FCC) oder des Centers for Disease Control and Prevention (CDC), deren vorsichtige Formulierungen zu Risiken auf Druck von Industrieberatern umgehend entschärft wurden (S. 17) (siehe dazu auch die Analyse von Heroux,

2025). Oder in der Ernennung von Tom Wheeler zum Chef der FCC durch Präsident Obama im Jahr 2013, obwohl Wheeler von 1992 bis 2004 den Unternehmerverband Cellular Telecommunications & Internet Association (CTIA) führte. Der Einfluss der Industrie sei evident. So wurden unter Donald Trump „sämtliche nicht-militärisch geförderten biologischen HF-Forschungen der US-Regierung“ (S. 15) eingestellt – ein beunruhigender Rückzug aus der unabhängigen Risikoauflärung. In diesem Zusammenhang kritisiert Lin auch die Rolle einer bundesdeutschen Institution: Er bezeichnet das Bundesamt für Strahlenschutz als „eine der wichtigsten Finanzierungsquellen der ICNIRP“ (S. 18). Diese Verflechtung ist hoch problematisch hinsichtlich der wissenschaftlichen und regulatorischen Unabhängigkeit. Die gleichen Experten, die die Risikobewertung vornehmen, legen auch die Bewertungsmaßstäbe fest. Das BfS leitet in Personalunion mit dem ICNIRP-Sekretariat seinen eigenen Normgeber, hält ihn finanziell aus und kontrolliert sich quasi selbstreferentiell.¹²

Das selbstreferentielle ICNIRP-Netzwerk

Darüber hinaus verweist Lin auf eine personelle und methodische Nähe zwischen der ICNIRP und dem WHO-EMF-Projektbüro, die die Unabhängigkeit der wissenschaftlichen Bewertungen infrage stellt (siehe dazu auch Buchner/Rivasi (2021), Nordhagen/Flydal (2023), Tagespiegel (2019)). Lin bemängelt „die mangelnde Meinungsvielfalt und die damit verbundene Gefahr von Gruppendenken“ (S. 20). Dieselbe Kritik an diesem Deutungsmonopol auf nationaler Ebene wird im Bericht zur Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages (als PDF unter kurzlinks.de/tab2023) geübt:

„So werden die Festlegung der Rahmenbedingungen für die Risikobewertung, die Risikobewertung selbst und die Entscheidung darüber, welche EMF-Expositionen noch tolerierbar sind, faktisch ausschließlich einem wissenschaftlichen Expertengremium, der ICNIRP, überlassen.“ (S. 83 und ähnlich S. 156)

„Von Kritikern wird allerdings bezweifelt, ob die ICNIRP für die ihr zugeordnete Rolle ausreichend demokratisch legitimiert ist (BUND 2012, S. 15; Huss 2011, S. 9). Darüber hinaus werden Bedenken hinsichtlich möglicher Interessenkonflikte von Mitgliedern der ICNIRP geäußert (Bio-Initiative Working Group 2012, S. 8; Hardell 2017) sowie Verflechtungen zwischen der ICNIRP und anderen parteiischen Beratungsorganen.“ (S. 83)

Die durchgängige Missachtung der Studienlage und des Vorsorgeprinzips in den regulatorischen ICNIRP-Leitlinien deutet nicht nur auf ein wissenschaftliches Defizit hin, sondern auf ein systemisches Versagen im Spannungsfeld zwischen Gesundheitsschutz und ökonomischem Interesse. Lin schreibt:

„Der Widerstand der Mobilfunkindustrie ist verständlich. Es würde ihrem Geschäftsmodell erheblich schaden, wenn ihre Produkte mit negativen Folgen für die öffentliche Gesundheit in Verbindung gebracht würden. Die leichtfertige Ablehnung durch die für Gesundheit und Strahlenschutz zuständigen Behörden ist jedoch unangemessen und besorgniserregend.“ (S. 17)

Lin kritisiert, dass sich die Politik bei Entscheidungen gerne von „eigenen Interessen“ und „politische[n] Vorteile[n]“ (S. 22) leiten lässt. Die Auseinandersetzung mit den Risiken elektromagnetischer Felder verlangt jedoch nicht nur methodische Sorgfalt, sondern auch eine politische und ethische Haltung. Lins Beitrag ist daher nicht allein eine Kritik an fehlerhaften Grenzwerten – sein Beitrag ist auch ein Plädoyer für die Rückkehr zu wissenschaftlicher Integrität und regulatorischer Unabhängigkeit.

Prof. James C. Lin verdient für seine wissenschaftliche Unerschrockenheit und intellektuelle Unabhängigkeit hohe Anerkennung. Seine Arbeit zeigt eindrücklich, dass die derzeitigen HF-Schutzstandards, also die gesetzlichen Grenzwerte, interessengeleitet und unwissenschaftlich sind. Daher sind sie „ungeeignet für langfristige Expositionen mit geringer Intensität“, sie können „Kinder, Arbeitnehmer, die Öffentlichkeit oder [...] empfindliche Personen nicht ausreichend vor einer Exposition schützen.“ (S. 15)

Lin ist dennoch optimistisch. Er berichtet von Forschungsprojekten im US-Militär, das aus internen militärischen Gründen an der Aufklärung von Risiken interessiert sei. Diese Projekte bestätigten Gesundheitsrisiken und könnten zu einem Paradigmenwechsel führen.

Auch diagnose:funk ist optimistisch: Lins Artikel könnte bei Entscheidungsträgern, die sich der Wahrheit und dem Gesundheitsschutz verpflichtet fühlen, zu einem Erkenntnisprung führen über die Studienlage jenseits der ICNIRP-Blase. Dies könnte zur Grundlage für eine wissenschaftlich begründete Verschärfung der Mobilfunkgrenzwerte werden, die die Bevölkerung vor thermischen und nicht-thermischen Effekten schützen.

Literatur

Buchner K / Rivasi M (2021): Die Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung: Interessenkonflikte, „Corporate Capture“ und der Vorstoß zum Ausbau des 5G-Netzes, Broschürenreihe der Kompetenzinitiative; diagnose-funk.org/1701

Butler T (2020): Drahtlose Technologien und das Risiko schädlicher gesundheitlicher Auswirkungen auf die Gesellschaft: Eine retrospektive ethische Risikoanalyse von Gesundheits- und Sicherheitsrichtlinien (Wireless Technologies and the Risk of Adverse Health Effects in Soci-

ety: A Retrospective Ethical Risk Analysis of Health and Safety Guidelines, Online Working Paper). Als diagnose:funk-Brennpunkt: diagnose-funk.org/1683

Butler T (2020): A Report on the Non-Thermal Effects of Radio Frequency Radiation and the Adequacy of Health and Safety Guidelines to Protect Public Health, Online Paper. Download: diagnose-funk.org/1683

Hardell L, Carlberg M (2021): Grenzwerte, die von der Lobbyorganisation ICNIRP mit Sitz im Bundesamt für Strahlenschutz empfohlen werden, schützen nicht. Als diagnose:funk-Brennpunkt: diagnose-funk.org/1697

Hardell L, Nilsson M, Koppel T, Carlberg M (2021): Aspects on the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) 2020 Guidelines on Radiofrequency Radiation, Journal of Cancer Science and Clinical therapeutics; J Cancer Sci Clin Ther 2021;5 (2): 250-285; cdn.fortunejournals.com/articles/aspects-on-the-international-commission-on-nonionizing-radiation-protection-icnirp-2020-guidelines-on-radiofrequency-radiation.pdf bzw. kurzlinks.de/a0at

Hensinger P (2022): Eine Auseinandersetzung mit Prof. M. Rööslis Darstellung der Studienlage zu nicht-ionisierender Strahlung und 5G, umg 2/2022, in Englisch erschienen: An analysis of Prof. Rööslis presentation of available studies on non-ionizing radiation and 5G; diagnose-funk.org/1798

Heroux P (2025): Building the gulf of opinions on the health and biological effects of electromagnetic radiation. Front. Public Health 13:1589021; doi.org/10.3389/fpubh.2025.1589021 bzw. kurzlinks.de/7zvz

ICBE-EMF (International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields) (2022): Scientific evidence invalidates health assumptions underlying the FCC and ICNIRP exposure limit determinations for radiofrequency radiation: implications for 5G. Environ Health 21,92 (2022). Erschienen als diagnose:funk-Brennpunkt: Internationale Grenzwertkommission ICBE-EMF will strengere Mobilfunk-Grenzwerte. Studie weist Unwissenschaftlichkeit der geltenden ICNIRP-Grenzwerte nach; diagnose-funk.org/1937

Lin JC (2025a): Health and safety practices and policies concerning human exposure to RF/microwave radiation, Front Public Health 2025; 13: 1619781; doi.org/10.3389/fpubh.2025.1619781

Lin JC (2025): World Health Organization's EMF Project's Systemic Reviews on the Association Between RF Exposure and Health Effects Encounter Challenges, IEEE Microwave Magazine, Januar 2025; radiationresearch.org/wp-content/uploads/2024/12/World_Health_Organizations_EMF_Projects_Systemic

[Reviews on the Association Between RF Exposure and Health Effects Encounter Challenges Health Matters.pdf](#) bzw. kurzlinks.de/f317

Lin JC (2023): RF Health Safety Limits and Recommendations, IEEE Microwave Magazine, Juni 2023; ieeexplore.ieee.org/document/10121536

Lin JC (2023): Incongruities in recently revised radiofrequency exposure guidelines and standards, Environ Res 2023, 222:115369; emf-portal.org/en/article/49785

Lin JC (2022): Carcinogenesis from chronic exposure to radio-frequency radiation, Frontiers in Public Health, frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2022.1042478/full bzw. kurzlinks.de/ymsb

Lin JC (2019): The Significance of Primary Tumors in the NTP Study of Chronic Rat Exposure to Cell Phone Radiation, IEEE Microwave Magazine, November 2019; ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8866792

Lin JC (2018): Clear Evidence of Cell-Phone RF Radiation Cancer Risk, IEEE Microwave Magazine, Sep/Oct 2018; ieeexplore.ieee.org/document/8425056

Nordhagen EK, Flydal E (2023): Self-referencing authorships behind the ICNIRP 2020 radiation protection guidelines, Rev Environ Health 2023;38 (3): 531-546; jrseco.com/wp-content/uploads/10.1515_reveh-2022-0037.pdf bzw. kurzlinks.de/nordhagen

Scheler K, Hensinger P (2022): Ergebnisse der MOBI-Kids-Studie und ihre durch das Bundesamt für Strahlenschutz verbreitete Fehlinterpretation, umg 3/2022, in Englisch erschienen: Findings of the MOBI-Kids study and their misinterpretation spread by the Federal Office for Radiation Protection; diagnose-funk.org/1861

Tagesspiegel (2019): Europa ignoriert mögliches Krebsrisiko von 5G. Tagesspiegel recherchiert zu 5G / Mobilfunkstudienlage, diagnose-funk.org/1335

diagnose:funk dokumentiert die Debatte

Bundesamt für Strahlenschutz: Meinung statt Wissenschaft. Heckenschützen aus dem Hinterhalt. diagnose-funk.org/2252

Die Historie der Krebsdebatte. Brisante Ergebnisse, manipulierte Widerlegungen! diagnose-funk.org/2235

Studie im Auftrag der WHO findet Krebsrisiko bei Tieren, die Mobilfunk-Strahlung ausgesetzt sind. Das Ergebnis steht im Widerspruch zur ICNIRP und den meisten Gesundheitsbehörden. diagnose-funk.org/2220

ICNIRP/BfS-Studien: Wissenschaftler fordern Rücknahme. IEEE-Magazin: Prof. James C. Lin unterstützt die Forderung. diagnose-funk.org/2169

Bundesamt für Strahlenschutz korrigiert eigene Falschmeldung zu Handy, Krebs und WHO! Halbherzig wird Fehler zugegeben: Wo bleibt die öffentliche Korrektur? diagnose-funk.org/2143

Dr. Oleg Grigoriev (russ. Strahlenschutz-Kommission) kritisiert ICNIRP-Studie. diagnose-funk.org/2128

ICNIRP-Studie behauptet, Handynutzung erhöhe Krebsrisiko nicht. Ist das so? Wir analysieren die weltweite Kampagne zur Risikoleugnung! diagnose-funk.org/2127

Microwave News: Alter Wein in neuen Schläuchen! Entschlüsselung der neuen ICNIRP-Krebsstudie. Spiel vorbei? Wahrscheinlich nicht! diagnose-funk.org/2125

Artikelserien von diagnose:funk

Dokumentation: Das einflussreiche Netzwerk der ICNIRP-Wissenschaftler und die problematische Rolle des Bundesamts für Strahlenschutz. diagnose-funk.org/1702

Artikelserie zum 5G-Dialog „Deutschland spricht über 5G“ der Bundesregierung Teil I-V. diagnose:funk setzt sich mit den Argumenten der Kampagne der Bundesregierung auseinander. diagnose-funk.org/1657

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. diagnose-funk.org/1899

Anmerkungen

¹ Scheler K (2019): Behauptungen & Scheinargumente Teil I: Mobilfunkstrahlung hat zu wenig Energie, um Zellen zu schädigen. Oxidativer Stress ist unplausibel. diagnose-funk.org/1441

² Biografie von Prof. James C. Lin: ieeexplore.ieee.org/author/37278769800

³ Nicht-thermische Wirkungen: diagnose:funk dokumentiert in der Datenbank EMFdata.org mehr als 700 Studien, die nicht-thermische biologische Wirkungen nachweisen. Der ÜBERBLICK Nr. 3 „Zeigt Mobilfunk auch nicht-thermische Wirkungen?“ stellt die Diskussion um das thermische Dogma seit den 1950er Jahren bis heute dar und dokumentiert exemplarisch 70 Studien, die athermische Wirkungen nachweisen: diagnose-funk.org/2090

⁴ Siehe dazu Sarah J. Starkey (2016) : Inaccurate official assessment of radiofrequency safety by the Advisory Group on Non-ionising Radiation; Rev Environ

Health 2016; 31 (4): 493-503, erschienen als diagnose:funk-Brennpunkt (2017): Mobilfunk-Grenzwerte entzaubert: Studie weist nach, wie Grenzwerte scheinwissenschaftlich legitimiert werden. diagnose-funk.org/1163

- ⁵ Angesichts der Fülle der Studien, die pathologische, nicht-thermische Effekte zeigen, kann das BfS das Ignorieren nicht durchhalten. In der Serie „Spotlight“ bespricht es nun wichtige Studien, unterstellt ihnen Fehler, um sie anzweifeln und marginalisieren zu können. Diese Methode kritisiert diagnose:funk im Homepage-Artikel „Bundesamt für Strahlenschutz: Meinung statt Wissenschaft. Heckenschützen aus dem Hinterhalt“, diagnose-funk.org/2252

Analyse des manipulativen Vorgehens des BfS anhand der BfS-Spotlight-Interpretation der Studie von Bozok et al. im ElektromogReport 3/2025. emfdata.org/de/elektromogreport/detail&id=328

- ⁶ Die ICBE-EMF (International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields) hat in ihrer Analyse 14 falsche Annahmen, die den ICNIRP-Richtlinien für HF-Strahlung „inhärent“ sind, nachgewiesen. Das ICBE-EMF-Papier ist als diagnose:funk-Brennpunkt erschienen: Internationale Grenzwertkommission ICBE-EMF will strengere Mobilfunk-Grenzwerte. Studie weist Unwissenschaftlichkeit der geltenden ICNIRP-Grenzwerte nach; diagnose-funk.org/1937; siehe auch: diagnose-funk.org/1910

- ⁷ Die falsche Basis der ICNIRP-Grenzwerte wird in der ICBE-EMF Grenzwertstudie erstmals umfassend aufgedeckt. Kurzzeitexperimente für die US-Marine an acht (!) Ratten und fünf (!) Affen waren Grundlage für die Grenzwerte (s. Anm. 6).

- ⁸ Anja Brückner (2022): Kommunale Mobilfunkkonzepte im Spannungsfeld zwischen Vorsorge und Versorgung, Dissertation, Reihe: Erlanger Schriften zum Öffentlichen Recht, Band 12; diagnose-funk.org/2109

- ⁹ Siehe S. 18. Das Portal Microwave News stellt die Verbindungen zwischen ICNIRP und dem WHO-EMF-Projektbüro ausführlich dar: microwavenews.com/news-center/can-who-kick-icnirp-habit

- ¹⁰ Diese Debatte ist hier dokumentiert:

- Microwave News (2024): Old Wine in New Bottles Decoding New WHO-ICNIRP Cancer Review. Game Over? Likely Not; microwavenews.com/newscenter/old-wine-new-bottles, Übersetzung: diagnose-funk.org/2125
- diagnose:funk (2024): ICNIRP-Studie behauptet, Handynutzung erhöhe Krebsrisiko nicht. Ist das so? Wir analysieren die weltweite Kampagne zur Risikoleugnung! diagnose-funk.org/2127

- diagnose-funk (2025): ICNIRP/BfS-Studien: Wissenschaftler fordern Rücknahme, diagnose-funk.org/2169

- ¹¹ Die Ausübung des Einflusses der Industrie in Deutschland hat diagnose:funk im Brennpunkt „Lobbyzone Berlin-Mitte. Wie die Telekommunikationsindustrie die Politik im Griff hat“ analysiert: diagnose-funk.org/1788

Die Symbiose zwischen BfS und Industrie wird beim Runden Tisch Elektromagnetische Felder (RTEMF) praktiziert. Beim 31. Runden Tisch 2024 bedankte sich stellvertretend für die IT-Branche Kristofer Steinijans (Telekom) für die Aktivitäten des Bundesamtes zum Schutz der Geschäfte der Industrie: „Die Begleitung durch die Initiative ‚Deutschland spricht über 5G‘ (Dsü5G) wurde als sehr hilfreich empfunden, insbesondere die Moderation bei kleinen Kommunen.“ (<https://www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/runder-tisch/runder-tisch.html>). Der neue deutsche Digitalminister Dr. Karsten Wildberger war vorher Top-Manager in der Digitalbranche; diagnose-funk.org/2180

- ¹² Ein *selbstreferentielles System* ist ein System, das sich auf sich selbst bezieht und seine Strukturen und Regeln aus sich heraus reproduziert, was politisch zur Abschottung, Intransparenz und zur Stabilisierung bestehender Machtverhältnisse führt. Bei vielen Umwelttoxinen wie Asbest, Blei im Benzin, DDT, Glyphosat, Neonicotinoide oder PFAS wurden und werden Gefahren durch die Wissenschaft nachgewiesen. Die Politik, das Behörden- und Rechtssystem ignorieren sie zunächst, um das Wachstums- und Profitsystem oder die öffentliche Ordnung nicht zu gefährden. Wissenschaftliche Kenntnisse über Noxen allein reichen in der Regel nicht aus, wenn Systeme wie Politik, Wirtschaft und Regulierung selbstreferenziell agieren, also vor allem sich selbst stabilisieren und externe Erkenntnisse nur langsam oder gar nicht integrieren. Das Zusammenspiel von ICNIRP und Bundesamt für Strahlenschutz ist dafür ein seit Jahrzehnten praktiziertes Beispiel.

Ein weiteres Beispiel ist „Stuttgart 21“: Alle staatlichen Institutionen legitimierten den Bau mit Hilfe von Parlamenten, Parteien, Gerichten, Kommunikationsagenturen, Wissenschaft, Medien, inszenierter Volksbefragung und sogar Polizeigewalt und setzten den Bau durch. Der Soziologe Ulrich Beck definiert dieses selbstreferentielle System in seinem Buch „Weltrisikogesellschaft“ (2007) als „Legitimationszirkel von Verwaltung, Politik, Recht und Management“, in dem Gefahren „normalisiert werden und ins unkontrollierbar Globale wachsen“ (S. 172). Der Staat degeneriere zum „Legitimationsorgan“ von Industrieinteressen. Er bringt diese Politik mit dem Begriff „organisierte Unverantwortlichkeit“ (S. 345) auf den Punkt.

Gesundheits- und Sicherheitspraktiken sowie Richtlinien zur menschlichen Exposition gegenüber Hochfrequenz-/Mikrowellenstrahlung

James C. Lin*

Fachbereich Elektrotechnik und Computertechnik,
 Universität von Illinois in Chicago, Vereinigte Staaten

HERAUSGEGEBEN VON

Tom Butler, University College Cork, Irland

BEGUTACHTET VON

Chandra Rekha Makanjee, University of Canberra, Australien,
 Victor Alan Leach, Oceania Radiofrequency Scientific Advisory
 Association, Australien, Else K. Nordhagen, Im Ruhestand,
 Oslo, Norwegen

*KORRESPONDENZ

James C. Lin lin@uic.edu

EINGEREICHT 28. April 2025

ANGENOMMEN 30. Juni 2025

VERÖFFENTLICHT 21. Juli 2025

STICHWORTE Mobilfunk, Annahmen für die Standards, militärisch-industrieller Komplex, Industrie-Regulierungs-Komplex, systematische Übersichtsarbeiten der WHO zu EMF, ICNIRP und WHO-EMF, Paradigmenwechsel

ZITIERUNG

Lin JC (2025): Health and safety practices and policies concerning human exposure to RF/microwave radiation *Front. Public Health* 13:1619781.

doi: [10.3389/fpubh.2025.1619781](https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1619781)

URHEBERRECHT

© 2025 Lin. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) veröffentlicht wurde. Die Nutzung, Verbreitung oder Reproduktion in anderen Foren ist gestattet, sofern die ursprünglichen Autor(en) und Rechteinhaber genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß den anerkannten wissenschaftlichen Standards zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Reproduktion, die nicht mit diesen Bedingungen übereinstimmt, ist nicht gestattet.

Übersetzung: *diagnose.funk*, mit freundlicher Genehmigung des Autors. Maßgeblich ist der englische Originaltext.

Stand: 8. September 2025

Mit der raschen Verbreitung von Mobilfunknetzen und -geräten wachsen auch die Bedenken hinsichtlich der Auswirkungen der Exposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung (HF) auf die öffentliche Gesundheit und Sicherheit. Außerdem besteht eine Unsicherheit hinsichtlich der Anwendbarkeit der geltenden Gesundheitsschutzvorschriften, Grenzwerte und Richtlinien für die HF-Exposition, einschließlich ihrer Anwendung für 5G und das erwartete 6G. Dieser Artikel (1) befasst sich mit den derzeit geltenden Normen für die sichere Exposition des Menschen gegenüber HF-Strahlung, (2) untersucht die den Normen zugrunde liegenden Annahmen, (3) beschreibt die Rolle des militärisch-industriellen Komplexes bei der Beeinflussung der Forschung zu den gesundheitlichen Auswirkungen und der Festlegung von Sicherheitsstandards, (4) erörtert die Beteiligung eines industrie-regulatorischen Komplexes, (5) erläutert das Zusammenspiel zwischen der ICNIRP und dem WHO-EMF-Projekt, (6) untersucht die jüngsten Veröffentlichungen der vom WHO-EMF-Projekt in Auftrag gegebenen systematischen Übersichtsarbeiten und (7) schließt mit einigen Beobachtungen zu einem offensichtlichen Paradigmenwechsel.

Einleitung

Im Jahr 2021 waren weltweit fast 15 Milliarden Mobilfunkgeräte in Betrieb. Die Zahl der HF-Mobilfunkgeräte wird bis 2025 voraussichtlich 18 Milliarden erreichen, was einem Anstieg von 4 Milliarden Geräten gegenüber 2020 entspricht [1]. Die aktuelle Weltbevölkerung liegt nach den neuesten Schätzungen der Vereinten Nationen bei etwa 8,2 Milliarden Menschen [2]. Diese Zahlen lassen darauf schließen, dass derzeit jeder Mensch auf der Erde zwei oder mehr HF-strahlenden Geräten ausgesetzt ist. Ebenso nutzen etwa 97 % der Erwachsenen in den USA ein Mobiltelefon oder ein Mobilfunkgerät, darunter 99 % der 18- bis 29-Jährigen und 94 % der Bevölkerung in ländlichen Gebieten [3].

Die rasche Verbreitung von Mobilfunkgeräten und Mobilfunksystemen gibt Anlass zu Bedenken hinsichtlich der gesundheitlichen Auswirkungen und der Sicherheit der Exposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung (HF). Es bestehen auch Bedenken hinsichtlich der Wirksamkeit der veröffentlichten Gesundheitsvorschriften, Grenzwerte und Normen für die HF-Strahlung dieser Geräte und Systeme.

Präsident D. Eisenhower hielt am 17. Januar 1961 seine Abschiedsrede, die seitdem als eine der berühmtesten Reden in der amerikanischen Geschichte gilt. Darin warnte er die Amerikaner unter anderem vor dem „militärisch-industriellen Komplex“, einem Netzwerk von Personen und Institutionen, die an der Entwicklung von Militärgütern und der Produktion von Waffen beteiligt sind. Eisenhower warnte, dass „die Vereinigten Staaten sich vor dem unrechtmäßigen Einfluss des militärisch-industriellen Komplexes hüten müssen“, zu dem das Verteidigungsministerium, Mitglieder des Kongresses, private und staatliche Militärindustrien und Auftragnehmer gehörten. Eisenhower war der Ansicht, dass „der militärisch-industrielle Komplex dazu neigt, eine Politik zu fördern, die möglicherweise nicht im besten Interesse des Landes ist“.

Der militärisch-industrielle Komplex spielte seit Beginn der entsprechenden wissenschaftlichen Untersuchungen Mitte des 20. Jahrhunderts eine große Rolle bei der Beeinflussung der Forschung zu den biologischen Auswirkungen der Exposition durch elektromagnetische Felder und Wellen, einschließlich der HF-Strahlung [4-7]. Der Schwerpunkt lag dabei stark auf der durch HF-Strahlung verursachten Erwärmung von Gewebe mit der Folge einer Erhöhung der Körpertemperatur. Seitdem steht der militärisch-industrielle Komplex Forschungsstudien, die zu anderen Ergebnissen kamen, äußerst kritisch gegenüber und verteidigt rigoros den Status quo [8].

Dieser Artikel bewertet kritisch die Fragen der biologischen Auswirkungen und gesundheitlichen Folgen, die für die Nutzung von HF- und Mikrowellenstrahlung durch Mobiltelefone und Mobilfunkkommunikation relevant sind. Er beginnt mit einem historischen Überblick und bewertet die derzeit geltenden Standards für die sichere Exposition des Menschen. Er untersucht die Annahmen, die den Standards zugrunde liegen. Außerdem werden folgende Punkte erörtert: (1) der Grad der Beteiligung des militärisch-industriellen Komplexes an der Förderung der Forschung zu biologischen Auswirkungen und der Festlegung von Sicherheitsstandards; (2) die offensichtliche Beteiligung eines Industrie-Regulierungs-Komplexes; (3) wichtige Laborergebnisse, die in den Richtlinien nicht berücksichtigt werden; (4) das Zusammenspiel zwischen der ICNIRP und dem EMF-Projektbüro der WHO; (5) die jüngste Veröffentlichung der von der EMF-Projektstelle der Weltgesundheitsorgani-

sation in Auftrag gegebenen systematischen Übersichtsarbeiten und (6) schließlich einige Beobachtungen zu einem sich abzeichnenden Paradigmenwechsel.

Ein historischer Überblick über die Normen für die Exposition gegenüber HF-Strahlung

Das Interesse an den biologischen Auswirkungen von HF-Strahlung reicht bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs zurück. Die darauffolgenden Entwicklungen und Forschungen in den 1940er und 1950er Jahren haben gezeigt, dass HF- und Mikrowellenstrahlung durch Erwärmung des Körpergewebes sowohl positive als auch negative biologische Auswirkungen auf den Menschen haben kann. Ein Temperaturanstieg durch Erwärmung kann von einfachen Messgeräten erfasst werden, jedoch nicht zwangsläufig. Diese Informationen waren ausschlaggebend für die Festlegung von 100 W/m^2 (10 mW/cm^2) als Sicherheitsstandard für die Exposition von Menschen gegenüber HF- und Mikrowellenstrahlung im Jahr 1966 [5, 6]. Weitere Untersuchungen führten 1982 zu einer geringfügigen Änderung der Standards [9]. Diese Bemühungen waren das Ergebnis einer Zusammenarbeit zwischen der heutigen IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) und dem US-Marineministerium. Die verfügbaren wissenschaftlichen Daten lieferten jedoch nur eine rudimentäre Grundlage für einen wenig strengen oder präzisen Expositionsstandard (d. h. eine Anpassung der groben Zeitgrenze von 0,1 Stunden auf 6 Minuten). Daher wurde die Forschung zu biologischen Auswirkungen und zur sicheren Nutzung von HF- und Mikrowellenstrahlung fortgesetzt und der wissenschaftliche Wissensstand schrittweise erweitert.

Ein wichtiger Teil der Forschung war die quantitative Abschätzung der im Körper absorbierten HF-Energie, die für eine beobachtbare biologische Wirkung durch eine einfallende Leistungsdichte erforderlich ist. Die Einführung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) und ihrer Frequenzabhängigkeit von der einfallenden Leistung bildete die Grundlage für die Festlegung einer zulässigen Höchstbelastung. Die Ergebnisse dienten als Grundlage für die quantitative Auswertung der Laborbeobachtungen [10]. SARs können verwendet werden, um die HF- und Mikrowellenbelastung mit den in Forschungsstudien beobachteten Reaktionen in Verbindung zu bringen. Sie können zu einem besseren und quantitativeren Verständnis der biologischen Phänomene beitragen. Dabei sind sie nicht von interaktiven Mechanismen abhängig. Die SAR kann als Maßstab für die Extrapolation von experimentellen Daten von Zellen auf Gewebe, von Gewebe auf Tiere, von Tieren auf Menschen usw. dienen. Tatsächlich kann die SAR verwendet werden, um Zusammenhänge zwischen verschiedenen beobachteten Reaktionen in unterschiedlichen Untersuchungsmodellen und bei verschiedenen Testpersonen zu bewerten.

Weitere Fortschritte haben die Verbesserung bestehender Expositionsstandards erheblich unterstützt. So empfahl etwa der US-amerikanische National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) in seinem Bericht über biologische Auswirkungen und Expositions-kriterien für Mikrowellen- und HF-Strahlung [11] die ausschließliche Verwendung der SAR zur Quantifizierung der Verteilung und Absorption von HF- und Mikrowellenstrahlung in biologischen Materialien oder Tierkörpern unter Exposition. Infolgedessen wurde die SAR in der 1992 von der IEEE Standards Association entwickelten Ausgabe der Expositionsstandards verwendet, die auch vom American National Standards Institute anerkannt wurde [12].

Die fortschreitende Verbreitung von Mobiltelefonen und mobilen Kommunikationsgeräten und -systemen sowie die anhaltenden Bedenken hinsichtlich der gesundheitlichen Auswirkungen und Sicherheit der allgegenwärtigen HF- und Mikrowellenstrahlung veranlassten die US-amerikanische Federal Communications Commission (FCC) 1996 dazu, Grenzwerte für die zulässige Exposition von Menschen gegenüber HF- und Mikrowellenstrahlung durch Mobiltelefone und Basisstationen festzulegen [13]. Die FCC-Vorschriften für die SAR entsprechen den Empfehlungen des NCRP (1,6 W/kg für 1 g Gewebemasse) und sind auch mit den freiwilligen ANSI/IEEE-Normen von 1992 für die entsprechenden Frequenzbereiche praktisch identisch. Mit einer wichtigen Ausnahme sind die FCC-Vorschriften jedoch gesetzlich verbindlich.

Weltweit und historisch gesehen wurden damals die Richtlinien zum Schutz vor elektromagnetischer Strahlung von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) unter der Schirmherrschaft der Internationalen Vereinigung für Strahlenschutz (IRPA) entwickelt. Der Schwerpunkt lag damals auf ionisierender Strahlung. Im Jahr 1992 gründete die IRPA eine neue Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP) mit dem Ziel, international anerkannte Empfehlungen für nicht-ionisierende Strahlung zu entwickeln. Dies war der Höhepunkt eines Prozesses, der Jahre zuvor begonnen hatte, als in wissenschaftlichen Publikationen immer mehr Belege für biologische Auswirkungen und gesundheitliche Folgen von Mikrowellen- und HF-Strahlung auftauchten.

Im Jahr 1998 veröffentlichte die ICNIRP ihre Empfehlungen für Richtlinien [14]. Diese Richtlinien ähneln stark den ANSI/IEEE-Normen von 1992 und den FCC-Vorschriften von 1996. Die ICNIRP entschied sich jedoch dafür, den SAR-Grenzwert auf vergleichsweise hohe 2,0 W/kg im Durchschnitt über 10 g biologisches Gewebe für die lokale Absorption festzulegen. Sie tat dies ohne eine klar beschriebene wissenschaftliche Begründung oder biophysikalische Grundlage.

Im Jahr 2001 wurde der neue Name „International Committee on Electromagnetic Safety“ (ICES) von der IEEE Standards Association übernommen und ersetzt die bisherigen Gremien (IEEE C95.1 Committees), die zuvor die ANSI/IEEE-Normen von 1992 erarbeitet hatten.

Die IEEE-ICES veröffentlichte 2006 eine Reihe überarbeiteter Expositionsstandards, die erheblich von der ANSI/IEEE-Ausgabe von 1992 (und deren zwischenzeitlichen Änderungen) abweichen. Insbesondere übernahm sie den SAR-Wert der ICNIRP von 2,0 W/kg, gemittelt über eine Gewebemasse von 10 g für lokale Absorption [15]. Dies geschah angeblich im Sinne einer Harmonisierung der globalen Standards, aber nicht unbedingt, um den aktuellen wissenschaftlichen Fortschritten beim Gesundheitsschutz Rechnung zu tragen.

In den letzten Jahren haben sowohl ICES als auch ICNIRP Überarbeitungen ihrer Empfehlungen für Expositionsgrenzwerte veröffentlicht [16, 23]. Die Überarbeitungen scheinen den Zielen der Industrie bzw. der Wirtschaft Rechnung zu tragen und basieren auf der festen Überzeugung, dass nur messbare Erwärmungen des Gewebes durch HF-Strahlung Auswirkungen haben. Sie basieren auf biologischen Daten aus Kurzzeit-Expositionen (weniger als 6 oder 30 Minuten). Sie tragen mitnichten dazu bei, das in vielen Teilen der Welt zum Ausdruck gebrachte Misstrauen gegenüber diesen HF-Expositionsstandards zu zerstreuen [17-22].

Aktuelle Sicherheitsstandards und Richtlinien

Eine kurze Zusammenfassung der aktuellen ICES- und ICNIRP-Empfehlungen oder -Standards für die Exposition des Menschen gegenüber HF-Strahlung [16, 23] ist in Tabelle 1 aufgeführt. Daraus geht hervor, dass für Frequenzen zwischen 6 GHz und 300 GHz, einschließlich 5G-Mobilfunk, die Expositionsgrenzwerte einen Anstieg der Gewebetemperatur im menschlichen Kopf, in den Gliedmaßen und im Rumpf um bis zu 5 °C zulassen. Dies würde einen Anstieg der Gewebetemperatur von nominal 37 °C auf hypertherme 42 °C ermöglichen. Eine hypertherme Gewebetemperatur von 42 °C ist zytotoxisch und kann zu einem exponentiellen Zelltod führen. Darüber hinaus dient die hypertherme Gewebetemperatur von 42 °C als medizinische Grundlage für die Behandlung von bösartigen Tumoren in der Hyperthermie-Therapie bei Krebs [24-26]. Die überarbeiteten Standards und Richtlinien sehen einen Reduktionsfaktor von 10 für die Allgemeinbevölkerung bei 20-40 W/m² sowie einen Sicherheitsfaktor von 2 für Arbeitsplätze mit Expositionen zwischen 100 und 200 W/m² vor. Unter diesen Umständen ist die Wirksamkeit und Sicherheit dieser Grenzwerte marginal und aus Sicht des Gesundheitsschutzes möglicherweise irrelevant. In Verbindung

mit dem Wissen über biologische Variabilität und Messunsicherheit werden sie besonders problematisch.

Bewertung der überarbeiteten Grenzwerte für den Gesundheitsschutz

In einer kürzlich veröffentlichten Studie wurde die gesundheitliche Sicherheit der geltenden HF-Grenzwerte in Frage gestellt und eine unabhängige Bewertung der wissenschaftlichen Erkenntnisse gefordert [18]. Die Studie zeigte auf, dass die bestehenden Expositionsgrenzwerte viele wissenschaftliche Arbeiten außer Acht lassen, die schädliche biologische Reaktionen bei Expositionswerten unterhalb der von den Sicherheitsrichtlinien festgelegten Grenzwerte dokumentieren. Ferner wird argumentiert, dass die wissenschaftlichen Daten die gesundheitlichen Annahmen, die den ausgeprägten HF-Expositionsbeschränkungen zugrunde liegen, widerlegen. Insbesondere für Frequenzen unter 6 GHz wurde ein SAR-Wert von 4 W/kg, zeitlich und räumlich gemittelt über den gesamten Körper, als wirksamer Schwellenwert für gesundheitsschädliche Auswirkungen auf den Menschen angenommen. Dieser Wert wurde auf der Grundlage von Störungen operant konditionierter Verhaltensabläufe bei einigen wenigen trainierten Nagetieren und Primaten festgelegt [27-29]. Die aktuellen Grenzwerte gehen davon aus, dass eine Wärmeerzeugungsrate von 4 W/kg im normalen Bereich der menschlichen Thermoregulation liegt. Sie wurden eingeführt, um ausschließlich schädliche thermische Auswirkungen auf die Körperfunktionen des Menschen zu verhindern.

Es ist bemerkenswert, dass die ICNIRP in ihren Leitlinien von 1998 Bedenken hinsichtlich der biologischen Auswirkungen gepulster HF- und Mikrowellensignale geäu-

bert hat, diese jedoch aus unerfindlichen Gründen aus den Empfehlungen von 2020 gestrichen hat. Dementsprechend werden alle spezifischen Pulsmodulationen, die für die Mobilfunktechnologie von entscheidender Bedeutung sind, genauso behandelt wie sinusförmige oder kontinuierliche Wellen (CW-Signale). Der über einen Zeitraum von 6 Minuten gemittelte SAR-Wert ist völlig unzureichend, um die einzigartigen Eigenschaften von Pulsmodulationen (mit Pulsbreiten im Nano- bis Mikrosekundenbereich) zu berücksichtigen oder die Auswirkungen pulsmodulierter Expositionen zu erfassen. Dazu zählt auch der Mikrowellenhör-Effekt, der selbst bei Mikrosekundenimpulsen ohne messbaren Temperaturanstieg und bei niedrigen SAR-Werten auftreten kann [30-32].

Die Anwendbarkeit der Grenzwerte für eine sichere Langzeitexposition durch schwache HF-Strahlung ist fraglich. Die überarbeiteten Expositionsgrenzwerte enthalten weder Anpassungen noch Schutzmaßnahmen im Hinblick auf mögliche Auswirkungen einer langfristigen Belastung des Menschen. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die chronische Toxizität und Karzinogenität von HF-Expositionen unterhalb der in geltenden Expositionsrichtlinien und -normen festgelegten Basisgrenzwerte werden offensichtlich nicht anerkannt [17-22, 33].

In Bezug auf epidemiologische Studien zu HF-Strahlung von Mobiltelefonen und deren Karzinogenität wird in den jüngsten Überarbeitungen [16, 23] behauptet, dass die Ergebnisse zu Gliomen, Meningeomen, Tumoren der Ohrspeicheldrüse und Akustikusneurinomen (Vestibularisschwannomen) keinen Nachweis für ein erhöhtes Krebsrisiko liefern. Außerdem kam es in den überarbeiteten Empfehlungen und Standards zu der Einschätzung,

TABELLE 1

Empfohlene Richtlinien von IEEE-ICES und ICNIRP für die Exposition des Menschen gegenüber Hochfrequenzstrahlung basierend auf thermischen Effekten [16, 23].

Frequenzbereich	Gewebetyp	Temperaturanstieg	Durchschnittsmasse	Durchschnittszeit	gesundheitliche Wirkungsschwelle	Faktor ^b	Grenzwert für Öffentlichkeit	Faktor ^b	Grenzwert für beruflich exponierte Personen ^c
100 kHz–6 GHz	lokaler Kopf/Rumpf	2 °C	10 g	6 Minuten	20 W/kg	10	2 W/kg	2	10 W/kg
	lokale Gliedmaßen	2 °C	10 g	6 Minuten	40 W/kg	10	4 W/kg	2	20 W/kg
>6 GHz–300 GHz ^a	lokaler Kopf/Rumpf	5 °C	4 cm ²	6 Minuten	200 W/cm ²	10	20 W/cm ²	2	100 W/cm ²
30 GHz–300 GHz ^a	lokale Gliedmaßen	5 °C	2 cm ²	6 Minuten	400 W/cm ²	10	40 W/cm ²	2	200 W/cm ²
100 kHz–300 GHz	Körperkern	1 °C	WBA ^d	30 Minuten	4 W/kg	50	0,08 W/kg	10	0,4 W/kg

Fußnoten: ^a 5G-Technologie, ^b Sicherheits- oder Reduktionsfaktor, ^c kontrollierte bzw. berufliche Exposition, ^d Ganzkörperdurchschnitt = WBA (Whole-body Average)

dass zwar Berichte über höhere Odds Ratios vorliegen, jedoch methodische Unterschiede und vermeintliche Schwächen wie mutmaßliche Erinnerungs- und Selektionsverzerrungen die epidemiologischen Ergebnisse daran hinderten, in die empfohlenen Leitlinien Eingang zu finden. Die Neigung, positive Ergebnisse zu kritisieren und zu leugnen, und gleichzeitig der Eifer und die Bereitschaft, negative Ergebnisse zu akzeptieren, sind offensichtlich und beunruhigend. Sie tragen dazu bei, das weltweit geäußerte Misstrauen gegenüber den aktuellen Richtlinien und Standards zur HF-Exposition zu verstärken.

Ablehnung der Ergebnisse von IARC, NTP und Ramazzini

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC), eine zwischenstaatliche Einrichtung der Weltgesundheitsorganisation (WHO), stufte die Exposition gegenüber HF-Strahlung als 2B ein – möglicherweise krebserregend für den Menschen [34, 35]. Eine Einstufung als möglicherweise krebserregend für den Menschen (Gruppe 2B) steht an dritter Stelle der fünf Kategorien der IARC für krebserregende Risiken. Die höchste Kategorie (Gruppe 1) ist für biologische, chemische und physikalische Stoffe reserviert, die krebserregend sind. Darauf folgen Gruppe 2A – wahrscheinlich krebserregend, Gruppe 2B – möglicherweise krebserregend und Gruppe 3 – hinsichtlich ihrer Karzinogenität nicht klassifizierbar; und schließlich Gruppe 4 – wahrscheinlich nicht krebserregend für den Menschen.

Die Aufgabe der IARC besteht in der Koordinierung und Durchführung gesundheitsbezogener Forschungen zu den Ursachen von Krebs beim Menschen. Sie wertete die verfügbaren wissenschaftlichen Untersuchungen aus und kam zu dem Schluss, dass epidemiologische Beobachtungen beim Menschen ein erhöhtes Risiko für die Gliom-Form des bösartigen Hirntumors und für gutartige Akustikusneurinome (d. h. Schwannome des Nervus vestibulocochlearis) bei starken oder langjährigen Nutzern von Mobiltelefonen zeigen. Die Beweislage ist ausreichend solide, um eine Einstufung der HF-Strahlung von Mobiltelefonen als möglicherweise krebserregend für den Menschen zu rechtfertigen. Gleichzeitig räumte sie ein, dass die vorhandene Datenbasis unvollständig und begrenzt sei, insbesondere hinsichtlich der Laborergebnisse aus Tierversuchen.

Bemerkenswerterweise wurden die zuvor fehlenden Ergebnisse aus Tierversuchen später durch den Bericht des U.S. National Toxicology Program (NTP) geliefert, der zwei Krebsarten bei Laborratten dokumentierte, die lebenslang HF-Strahlung von 2G- und 3G-Mobilfunkfrequenzen unterhalb von 6 GHz ausgesetzt waren [36-38]. Diese Untersuchung zur Karzinogenität war die bislang größte tierexperimentelle Untersuchung zu gesundheitlichen Auswirkungen, die jemals von Wissenschaftlern

des NTP durchgeführt wurde. Sie stellt zugleich die größte tierexperimentelle Studie zur Gesundheit dar, bei der die Exposition gegenüber HF-Strahlung von Mobiltelefonen als unabhängige Versuchsvariable verwendet wurde. Die Ergebnisse zeigten klare und statistisch signifikante Hinweise darauf, dass HF-Strahlung die Ursache für das Auftreten einer seltenen Form von bösartigem Krebs (Schwannom) im Herzen männlicher Ratten war. Die temperaturbedingte Reaktion blieb bei maximaler HF-Exposition (SAR = 6 W/kg) unter 1 °C. Bei den weiblichen Tieren gab es Hinweise auf ein Schwannomrisiko. Die Studie beobachtete außerdem bei männlichen und weiblichen Tieren im Vergleich zu gleichaltrigen Kontrollratten Herzschäden (Kardiomyopathie) aufgrund der HF-Exposition. Darüber hinaus zeigten die auf statistischer Signifikanz basierenden pathologischen Ergebnisse Anzeichen für eine HF-strahlungsabhängige karzinogene Aktivität (Gliome) im Gehirn männlicher Probanden. Die Beobachtungen bei weiblichen Tieren wurden im Vergleich zu gleichaltrigen Kontrollratten als nicht eindeutig hinsichtlich maligner Gliome bewertet.

Das sogenannte NIH-NTP-Projekt ist die bislang größte NTP-Tierkrebsstudie und umfasst auch toxische chemische Substanzen [39, 40]. Es handelt sich um eine lebenslange (zweijährige) Expositionsstudie an Ratten, die 900/1.900 MHz HF-Strahlung aus GSM- und CDMA-Mobilfunkgeräten ausgesetzt waren. GSM und CDMA werden häufig in der 3G-Mobilfunktechnologie verwendet.

Es ist wichtig anzumerken, dass Pathologen und Toxikologen des externen Peer-Review-Gremiums des National Toxicology Program (NTP) nach gründlicher Überprüfung der HF-Tierversuchsstudie am 28. März 2018 zu einem bedeutsamen Schluss gelangten. Sie stellten fest, dass es statistisch signifikante und „eindeutige“ Hinweise darauf gibt, dass sowohl die GSM- als auch die CDMA-modulierte HF-Exposition zur Entwicklung von malignen Schwannomen geführt hat. Dabei handelt es sich um eine seltene Form von Tumoren im Herzen männlicher Harlan-Sprague-Dawley-Ratten. Darüber hinaus wurden „uneindeutige Hinweise“ auf das gleiche Schwannomrisiko bei weiblichen Ratten festgestellt. Das Gremium stellte außerdem fest, dass sowohl bei HF-exponierten männlichen als auch weiblichen Tieren im Vergleich zur Kontrollgruppe ungewöhnliche Muster von Kardiomyopathie oder Herzgewebesbeschäden auftraten.

Darüber hinaus kam das Gremium – basierend auf der statistischen Signifikanz – zu dem Schluss, dass die pathologischen Befunde „gewisse Hinweise“ auf eine karzinogene Wirkung der HF-Exposition im Gehirn männlicher Ratten (Gliom) liefern. Die Ergebnisse für weibliche Ratten wurden jedoch im Vergleich zu den gleichzeitig untersuchten Kontrolltieren nur als „uneindeutiger Hinweis“ auf maligne Gliome gewertet [37].

Das 14-köpfige externe Peer-Review-Gremium bestand aus 10 Pathologen und Toxikologen (3 aus Universitäten und 7 aus der Industrie), 3 Professoren für Elektrotechnik und einem Biostatistiker; keiner von ihnen war in der Mobilfunkindustrie beschäftigt oder mit ihr verbunden.

Das Ramazzini-Institut in Bologna, Italien, berichtete im selben Jahr über die Ergebnisse seiner groß angelegten Studie zu Krebsrisiken bei Ratten, die unter Einhaltung guter Laborpraxis (GLP) 3G-Mobilfunkstrahlung ausgesetzt waren. Die Studie umfasste die Ganzkörperexposition derselben Rattenstämme wie beim NTP, entweder lebenslang oder pränatal bis zum Tod, unter Fernfeld-Expositionsbedingungen [41]. Während der etwa zweijährigen Exposition über 19 Stunden pro Tag betrug die berechneten Ganzkörper-SARs 0,001, 0,03 und 0,1 W/kg. Bei einer HF-Exposition von 0,1 W/kg wurde ein statistisch signifikanter Anstieg von Schwannomen im Herzen männlicher Ratten dokumentiert. Die Tatsache, dass die NTP- und Ramazzini-Studien vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich Herzschnannomen und Gliomen liefern, ist ein wichtiges Ergebnis. Diese zwei gut durchgeführten, groß angelegten HF-Tierstudien, bei denen Ratten derselben Zuchtlinie lebenslang exponiert wurden, zeigten konsistente Hinweise auf eine krebserzeugende Wirkung.

Offensichtlich werden diese Tierversuchsergebnisse in den jüngsten Überarbeitungen der Sicherheitsgrenzwerte nicht berücksichtigt. Die unabhängige Variable der Versuche, nämlich die HF-Strahlung von drahtlosen Kommunikationsgeräten und -systemen, wurde dabei völlig ignoriert. Stattdessen begründete das Gremium seine Entscheidung mit angeblich zufälligen Unterschieden in den Experimenten oder mit Komplikationen durch eine induzierte Erhöhung der Körperkerntemperatur um 1°C bei Ratten, die den höchsten HF-Expositionswerten (6 W/kg) ausgesetzt waren. Dabei wurde anscheinend gar nicht bemerkt, wie absurd die Annahme ist, dass eine Temperaturerhöhung von 1°C allein Krebs verursachen könnte. Vielleicht war es ein fehlgeleiteter Versuch, sich mit Ausflüchten wie „die Ergebnisse liefern keine glaubwürdigen Hinweise auf schädliche Auswirkungen“ durch chronische HF-Exposition aus der Affäre zu ziehen. Vage Formulierungen wie „erhebliche Einschränkungen“ wurden verwendet, um die Motive für die Verhinderung jeglicher „Schlussfolgerungen hinsichtlich HF-Exposition und Karzinogenese“ zu verteidigen und die empfohlenen HF-Grenzwerte zu legitimieren.

Die Ergebnisse aus Tierversuchen sollten dazu beitragen, die IARC-Einstufung zu aktualisieren und in die Kategorie „krebserregend“ oder zumindest in die nächsthöhere Kategorie „wahrscheinlich krebserregend“ anzuheben. Dennoch umgingen die überarbeiteten Empfehlungen dies, indem sie irrational erklärten, dass die experimentellen Laborergebnisse keine glaubwürdigen Hinweise

auf schädliche Auswirkungen einer ständigen HF- und Mikrowellenexposition liefern.

Es sei darauf hingewiesen, dass in einer aktuellen Studie [42] Forschende des NTP und des Ramazzini-Instituts gemeinsam die genetischen Veränderungen in HF-induzierten Ratten-Tumorproben durch molekulare Charakterisierung von Krebsgenen im Zusammenhang mit der Entstehung von menschlichen Gliomen untersuchten. Auf der Grundlage von für menschliche Gliome relevanten Genen wurde ein gezieltes Next-Generation-Sequencing-Panel (NGS) für Ratten erstellt. Einzelnukleotidvarianten sowie kleine Insertionen und Deletionen wurden in den Ratten-Gliomen und kardialen Schwannomen kategorisiert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass durch lebenslange HF-Exposition induzierte Rattengliome histologisch wie niedriggradige menschliche Gliome erscheinen.

Es ist interessant festzustellen, dass die IARC-Beratergruppe kürzlich die Neubewertung der Karzinogenität von HF-Strahlung innerhalb der nächsten 5 Jahre priorisiert hat [43]. Während eine Änderung der aktuellen IARC-Einstufung der Karzinogenität von HF-Strahlung noch abzuwarten bleibt, ist es gut, dass die IARC den jüngsten Bericht im Auge behält, dem zufolge Rattengliome, die durch lebenslange HF-Exposition entstanden sind, histologisch niedriggradigen menschlichen Gliomen ähneln [42].

Die Standards sind unpräzise und betreffen nur kurzfristige HF-Expositionen

Ein Thema, das Anlass zur Sorge gibt, ist die Entwicklung von Expositionsstandards und -richtlinien auf der Grundlage von fehlerhaften Vermutungen statt wissenschaftlichen Beweisen. Dies zeigt sich exemplarisch an der Harmonisierung des SAR-Grenzwerts der IEEE von 1,6 W/kg für eine Gewebemasse von 1 g mit dem Wert der ICNIRP von 2,0 W/kg für eine Masse von 10 g bei kurzfristiger Exposition unterhalb von 6 GHz. In den 1980er Jahren wurden die Einführung der SAR als Dosismetriegröße und die Festlegung des Wertes von 1,6 W/kg für eine Masse von 1 g mit großer wissenschaftlicher Sorgfalt und Sensibilität geprüft und Anfang der 2000er Jahre durch mehrere Überarbeitungen der IEEE-ICES-Normen bestätigt. Die Entscheidung der ICNIRP aus dem Jahr 1998, den SAR-Grenzwert von 2,0 W/kg zu wählen, erfolgte ohne belastbare wissenschaftliche oder biophysikalische Begründungen. Eine weltweite Harmonisierung der Normen und Richtlinien für die Exposition gegenüber HF- und Mikrowellenstrahlung wäre ein erstrebenswertes Ziel. Dies sollte jedoch nicht auf der Grundlage einer Harmonisierung um der Harmonisierung willen erfolgen. Das Verfahren sollte auf Fortschritte über den aktuellen Stand hinaus abzielen durch eine genauere Festlegung des SAR-Wertes und eine geringere Unsicherheit bei der Bewertung der Exposition.

Im Dezember 2019 bekräftigte die FCC ihre Vorschriften zur HF-Exposition [44], ungeachtet zahlreicher eingegangener Einwände. Während einige Stimmen eine Lockerung der Regelungen fordern, plädieren andere für eine Verschärfung. Zu den Befürwortern einer Lockerung der Vorschriften zählen unter anderem Berater:innen der Mobilfunkindustrie, die CTIA-The Wireless Association, das Mobile Manufacturers Forum (MMF) sowie die Telecommunications Industry Association. In ihren Einsprüchen argumentierten sie, dass die vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnisse nahelegen, dass 5G hinsichtlich gesundheitlicher Auswirkungen mit bereits etablierten Mobilfunktechnologien und -systemen vergleichbar sei. Zudem wurden Forderungen laut, die Grenzwerte für Hochfrequenzstrahlung an den ICNIRP-Standard von 2,0 W/kg SAR bezogen auf 10 g Gewebe anzupassen – ein weniger präzises Maß – und damit von der strengeren FCC-Regelung von 1,6 W/kg bezogen auf 1 g abzuweichen.

Abgesehen von der offensichtlichen numerischen Erhöhung des SAR-Werts um 25 % von 1,6 auf 2,0 W/kg verringert die Vergrößerung der durchschnittlich betrachteten Gewebemasse von 1 g auf 10 g die Genauigkeit der SAR-Berechnungen substanziell um den Faktor 10. Somit könnte das Harmonisierungsvorhaben insgesamt zu einer Anhebung oder Lockerung der zulässigen IEEE-Expositionsgrenzwerte oder FCC-Vorschriften um den Faktor 250 % führen – was einen deutlich geringeren Sicherheitsschutz bedeuten würde! Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass sich die biologischen Aspekte von Zelltypen, -mengen und -vielfalt in einer Masse von 1 g oder 10 g lebendem Gewebe erheblich unterscheiden.

Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der SAR und induziertem Temperaturanstieg im Gewebe ergaben eine enge Abhängigkeit von der Größe der gemittelten Gewebemasse und der Expositionsdauer [45]. Die Untersuchung umfasste anatomisch realistische Modelle des menschlichen Körpers. Dabei wurde der Einfluss der gemittelten Masse und der SAR auf den Zusammenhang zwischen HF-Energie und induziertem Temperaturanstieg im Gewebe untersucht. Es wurde festgestellt, dass die SAR bei kurzen Expositionen eine bessere Korrelation mit der Temperatur aufweist. Im Frequenzbereich von 700 bis 2.700 MHz zeigt sich die stärkste Korrelation zwischen der SAR und dem Temperaturanstieg bei Expositionszeiten von 1 bis 2 Minuten. In diesem Fall ist eine Masse von 1 g optimal für die Korrelation des Temperaturanstiegs mit der SAR. Bei längeren Expositionen nimmt die Korrelation zugunsten einer größeren gemittelten Masse ab. Bei stationären Expositionen von mehr als 30 Minuten ist die Korrelation zwischen Temperaturanstieg und der SAR für die betrachteten Frequenzen bei einer Masse von 9 g (~10 g) am größten. In wissenschaftlich fundierten Expositionsstandards und -richtlinien sollte die anzuwendende Durchschnittsmasse für Frequenzen unter 6 GHz auch für Sicherheitsstandards

oder -richtlinien in Bezug auf Erwärmung nicht für kurze und längere Expositionszeiten identisch sein.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die überarbeiteten HF-Expositionsstandards und -richtlinien nur die Gewebeerwärmung durch Hochfrequenzstrahlung berücksichtigen. Die Empfehlungen sind so formuliert, dass sie eine kurzfristige Erwärmung verhindern sollen. Sie sind fehlerhaft und ungeeignet für langfristige Expositionen mit geringer Intensität. Anstelle von wissenschaftlichen Fortschritten basieren sie auf fragwürdigen Messgrößen, die Kinder, Arbeitnehmer, die Öffentlichkeit oder gegenüber HF-Strahlung empfindliche Personen nicht ausreichend vor einer Exposition schützen. Die Empfehlungen umgehen bedeutende Ergebnisse aus Tierversuchen. Sie ignorieren Schlussfolgerungen wissenschaftlicher Organisationen wie der IARC. Viele der Empfehlungen sind umstritten und aus Sicht der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Bevölkerung wissenschaftlich nicht begründet.

Die Empfehlungen versäumen eine wirksame Risikovor-sorge und missachten zentrale Prinzipien des Strahlenschutzes, indem sie sich nicht an die drei wichtigen ICRP-Grundsätze des Strahlenschutzes halten: Rechtfertigung, Optimierung und ALARA (as low as reasonably achievable) – so niedrig wie vernünftigerweise möglich [46].

Ein Komplex aus Industrie und Regulierung

Die Einstellung des Forschungsprogramms des NIH-NTP zu den Auswirkungen von HF-Strahlung auf die Entstehung von Krebs hat faktisch sämtliche nichtmilitärisch geförderten biologischen HF-Forschungen der US-Regierung zum Erliegen gebracht [47, 48]. Gleichzeitig sind die Wirksamkeit der veröffentlichten Gesundheitsvorschriften, Standards und Empfehlungen für HF-Strahlung, die durch Mobilfunkgeräte und -systeme erzeugt wird, zu einem wichtigen Thema geworden. Die Einstellung entsprechender Forschungsprogramme wirft Zweifel an der Ernsthaftigkeit der US-Regierung hinsichtlich der wissenschaftlichen Untersuchung von Gesundheits- und Sicherheitsaspekten hochfrequenter Strahlung auf.

Vielleicht lässt sich die Beziehung zwischen den US-Aufsichtsbehörden und der Telekommunikationsindustrie als „Industrie-Regulierungs-Komplex“ beschreiben: Also ein Netzwerk, das auf die Erlangung unangemessenen Einflusses und politischer Macht abzielt, um regulatorische Entlastungen oder Unterstützungsmaßnahmen zugunsten der Industrie fortzuführen oder auszubauen. Dies kann auch die Besetzung von Machtpositionen in Regierungsbehörden, die für die Regulierung dieser Branchen zuständig sind, mit einflussreichen Industrievertreter:innen im Sinne eines Drehtüreffekts umfassen. Ein „Industrie-Regulierungs-Komplex“, der darauf abzielt, politische Maßnahmen zu fördern, die möglicher-

weise nicht im besten Interesse der Allgemeinheit liegen, könnte – sofern sein wachsender Einfluss nicht begrenzt wird – die öffentliche Gesundheit und Sicherheit gefährden.

Im Jahr 1968 verabschiedete der US-Kongress den „Radiation Control for Health and Safety Act“ (Gesetz zur Strahlenkontrolle zum Schutz von Gesundheit und Sicherheit). In den vorangegangenen Debatten wurde der Mangel an wissenschaftlichen Erkenntnissen über die biologischen Auswirkungen und gesundheitlichen Folgen der Exposition gegenüber ionisierender Strahlung, wie etwa Röntgenstrahlen, sowie nicht-ionisierender Strahlung, wie Mikrowellen, betont. Die Diskussionen deckten auf, dass Menschen einer erheblichen Menge vermeidbarer Strahlung ausgesetzt waren. Der Kongress erklärte, dass die Gesundheit und Sicherheit der Bevölkerung vor den Gefahren der Strahlung durch elektronische Produkte, einschließlich Mikrowellen, geschützt werden müsse. Das Gesetz ermächtigte die US-Bundesregierung, Strahlenstandards festzulegen, deren Einhaltung zu überprüfen und Forschungsarbeiten durchzuführen. Es wies das US-Ministerium für Gesundheit, Bildung und Soziales (HEW) an, ein System zur Kontrolle der Strahlung elektronischer Produkte einzurichten und zu betreiben, das die Gesundheit und Sicherheit der Bevölkerung vor der Strahlung elektronischer Produkte schützen sollte. Zur Einhaltung der Vorschriften legte die US-amerikanische Food and Drug Administration (FDA) über ihr Bureau of Radiological Health (BRH) einen bundesweiten Standard fest (21 CFR 1030.10), der die Menge an Mikrowellenstrahlung begrenzt, die ein Mikrowellenofen während seiner Betriebszeit abgeben darf: maximal 5 Milliwatt Mikrowellenstrahlung pro Quadratcentimeter ($5 \text{ mW/cm}^2 = 50 \text{ W/m}^2$) oder 194,17 Volt pro Meter (V/m) in einem Abstand von 5 cm, etwa 2 Zoll, von der Oberfläche des Geräts. Man beachte, dass die Federal Communications Commission (FCC) dieselben Regeln für die maximal zulässige Exposition (MPE) gegenüber der relevanten Mikrowellen- und Hochfrequenz-Strahlung festgelegt hat, jedoch ohne eine Abstandsangabe [44]. Die Lockerung der räumlichen Bedingungen durch die FCC könnte daher gemäß den Leistungsstandards der FDA für Mikrowellenherde potenziell zu einer gesundheitlich bedenklichen Exposition führen. Übrigens wurde das HEW 1979 in Department of Health and Human Services (HHS) umbenannt, um seine neuen Aufgaben ohne den Bildungsbereich widerzuspiegeln. Das Center for Devices and Radiological Health (CDRH) hat das BRH ersetzt.

Im Jahr 1999 schlug die FDA vor, die gesundheitlichen Auswirkungen der Hochfrequenz- und Mikrowellenstrahlung im Zusammenhang mit drahtlosen Kommunikationsgeräten – insbesondere Mobiltelefonen – durch das National Toxicology Program (NTP) toxikologisch und kanzerogen zu untersuchen. Auslöser für diesen Vorschlag waren Faktoren wie die weltweite Verbreitung

von Mobilfunkgeräten bei Nutzern aller Altersgruppen und die Tatsache, dass keine belastbaren epidemiologischen Daten aus Studien am Menschen vorlagen und die Ergebnisse aus Tierversuchen widersprüchlich waren. Nach einer umfassenden Auswertung der veröffentlichten Literatur und der damaligen experimentellen Untersuchungen kam das NTP zu dem Schluss, dass weitere Laboruntersuchungen erforderlich sind, um mögliche Gesundheitsrisiken für den Menschen durch die langfristige Exposition gegenüber Mikrowellen- und HF-Strahlung von Mobiltelefonen genauer zu definieren [37]. Es ist bemerkenswert, dass die Aufgabe des NTP darin besteht, die wissenschaftliche Grundlage für US-amerikanische Programme, Aktivitäten und Richtlinien zur Förderung der Gesundheit oder zur Prävention von Krankheiten zu liefern. Sein Leitprinzip lautet: „Wissenschaft, auf die Sie sich bei wichtigen Entscheidungen verlassen können.“ Die Ergebnisse des NTP gelten weithin als Goldstandard für Studien zur Toxikologie und Tumorentstehung bei Tieren.

Die FDA erkennt zwar an, dass die NTP-Studie die bislang umfassendste Untersuchung zu den Auswirkungen von Mikrowellen- und HF-Strahlung auf die Tumorentstehung ist, stimmt jedoch nicht allen Schlussfolgerungen der NTP-Studie zu [49]. Konkret entschied sie, dass „auf der Grundlage dieser *in vivo*-Tierstudien keine Schlussfolgerungen über die Auswirkungen einer solchen Exposition auf den Menschen gezogen werden können“. Die FDA äußerte die Befürchtung, dass die statistische Signifikanz des Ergebnisses bereits dann nicht mehr gegeben wäre, wenn in der Kontrollgruppe auch nur ein einziger Fall aufgetreten wäre.

Der Telecommunications Act von 1996 hatte tiefgreifende Auswirkungen auf die Telekommunikations- und Internetbranche in den Vereinigten Staaten, einschließlich der Wettbewerbsfähigkeit und des Verbraucherschutzes. Während der Act eine Marktkonzentration in der Medien- und Telekommunikationsbranche ermöglichte, erwies er sich als ineffektiv im Hinblick auf die Förderung von Gesundheit und Sicherheit der Bevölkerung [17]. So entschied beispielsweise das Berufungsgericht in Washington, D.C., im August 2021 als Reaktion auf Klagen des Environmental Health Trust und anderer Gruppen, dass die FCC „nicht einmal die niedrige Schwelle einer begründeten Analyse“ erfüllt habe, als sie zu dem Schluss kam, dass ihre Grenzwerte „ausreichend vor den schädlichen Auswirkungen der Exposition gegenüber Hochfrequenz-Strahlung“ schützen, einschließlich jener durch Mobiltelefone [50]. Darüber hinaus entschied das Gericht, dass die FCC auf Kommentare und Bedenken hinsichtlich der Angemessenheit ihrer Richtlinien für die Exposition gegenüber HF-Strahlung nicht hinreichend eingegangen sei. Das Gericht stellte fest, dass die FCC keine Begründung für ihre Entscheidung gegeben habe, eine Bekanntmachung über mögliche Änderungen ihrer Grenzwerte zurückzuziehen.

Das Gesetz verpflichtet die FCC, die wissenschaftliche Evidenz zu ihren regulatorischen Vorschriften sorgfältig zu prüfen. Dabei muss sie auch die Auswirkungen ihrer Maßnahmen auf die Qualität der menschlichen Umwelt bewerten – einschließlich der Exposition gegenüber Mikrowellen- und Hochfrequenzstrahlung, die von durch die FCC regulierten Quellen und Anlagen ausgeht. Die FCC ist eine spezialisierte Technologiebehörde ohne eigene gesundheitliche oder medizinische Expertise. Bei der Festlegung ihrer Gesundheits- und Sicherheitsvorschriften hat die FCC die FDA hinzugezogen – eine Fachbehörde für die Bewertung der Wirksamkeit medizinischer Geräte und die Regulierung gesundheitlicher und sicherheitsbezogener Auswirkungen von Verbraucherprodukten. Die FCC erließ ihre Vorschriften im Jahr 1996 und legte darin Grenzwerte für die Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung fest, die ihrer Einschätzung nach den damals verfügbaren Erkenntnissen über sichere HF-Expositionswerte für Arbeitnehmer und die Allgemeinbevölkerung entsprachen [51].

Der Widerstand der Mobilfunkindustrie ist verständlich. Es würde ihrem Geschäftsmodell erheblich schaden, wenn ihre Produkte mit negativen Folgen für die öffentliche Gesundheit in Verbindung gebracht würden. Die leichtfertige Ablehnung durch die für Gesundheit und Strahlenschutz zuständigen Behörden ist jedoch unangemessen und besorgniserregend.

Der Erfolg des militärisch-industriellen Komplexes der USA bei der Einflussnahme auf die Forschung zu den biologischen Auswirkungen von Mikrowellen- und Hochfrequenzstrahlung sowie bei der Festlegung von Gesundheits- und Sicherheitsstandards für den Menschen ist weithin bekannt [52]. Vielleicht könnte das Netzwerk zwischen der US-Regierung und der Telekommunikationsindustrie ähnlich als „Industrie-Regulierungs-Komplex“ bezeichnet oder umschrieben werden. Sie scheinen keine Mühen gescheut zu haben, um durch Vernetzung politischen Einfluss und Macht zu erlangen und die Regulierung der betroffenen Branchen fortzusetzen oder zu lockern. In diesem Zusammenhang sollte die „Drehtür“, durch die führende Vertreter:innen der Industrie in machtvollen Positionen innerhalb jener Regierungsbehörden gelangen, die eben diese Industrien regulieren, nicht unbeachtet bleiben. Ein Industrie-Regulierungs-Komplex kann politische Maßnahmen begünstigen, die dem Wohl der Bevölkerung nicht dienen – und damit die öffentliche Gesundheit gefährden.

Ein Beispiel dafür ist die Ernennung von Thomas E. Wheeler (Tom Wheeler) zum Vorsitzenden der FCC durch Präsident Barack Obama am 1. Mai 2013. Damals äußerten viele Menschen Bedenken hinsichtlich der möglichen Ernennung Wheelers, da er sich in der Vergangenheit für die Branche eingesetzt hatte, für deren Regulierung die FCC zuständig ist. Dennoch wurde er im November 2013 vom US-Senat bestätigt und war bis

zum 20. Januar 2017 im Amt. Unter seinen verschiedenen Funktionen in der Industrie leitete Tom Wheeler von 1992 bis 2004 den wichtigsten Branchenverband Cellular Telecommunications & Internet Association (CTIA). Während dieser Zeit initiierte Wheeler ein zehnjähriges, privat finanziertes Forschungsprogramm der Branche in Höhe von 25 Millionen Dollar, das der Öffentlichkeit die Unbedenklichkeit von Mobiltelefonen vermitteln sollte [53].

Die Bemühungen in den USA, das Bewusstsein für die Risiken von Mikrowellen- und HF-Strahlung zu schärfen, stießen auf heftigen Widerstand der Industrie. Im Jahr 2014 fügte die US-Gesundheitsbehörde CDC (Centers for Disease Control and Prevention) auf ihrer Website einen zurückhaltenden Hinweis hinzu: „Wie viele andere Organisationen weltweit empfehlen wir Vorsicht bei der Nutzung von Mobiltelefonen.“ Wenige Tage später wandte sich ein einflussreicher Berater der Industrie per E-Mail an die CDC und kritisierte, es seien „dringende Änderungen notwendig“. Eine spätere Anfrage im Rahmen des öffentlichen Informationsrechts brachte diesen Vorgang ans Licht. Die Behörde reagierte prompt und entschärfte ihre Formulierung: „Einige Organisationen empfehlen Vorsicht bei der Nutzung von Mobiltelefonen“ [17].

In den letzten Jahren hat die CDC eine vom Kongress eingesetzte Organisation aus dem privaten Sektor – den Nationalen Strahlenschutzrat (NCRP) – über dessen Ausschuss SC8-1 finanziert, um Informationswebseiten zur Nutzung drahtloser Technologien und deren möglichen gesundheitlichen Auswirkungen zu entwickeln [54, 55]. Offenbar ist die CDC besorgt darüber, dass Inhalte auf bestimmten Webseiten Zweifel säen und das Vertrauen in die bundesstaatlichen Sicherheits- und Gesundheitsstandards untergraben könnten, die angeblich zum Schutz der Bevölkerung vor schädlicher Hochfrequenz- und Mikrowellen-Strahlung geschaffen wurden. Zu den behandelten Themen gehören unter anderem die Kontroversen und die Relevanz biologischer Effekte bei niedriger Strahlungsintensität – also Effekte jenseits der „anerkannten“ thermischen Wirkungen – im Zusammenhang mit Mikrowellen- und Hochfrequenzemissionen drahtloser Technologien.

Von den neun Mitgliedern des NCRP SC8-1-Ausschusses, der Informationswebseiten zur Nutzung drahtloser Technologien und deren gesundheitlichen Auswirkungen entwickeln soll, verfügen lediglich zwei über ausgewiesene Fachkenntnisse zu Hochfrequenzstrahlung oder drahtloser Kommunikation [55]. Beide waren regelmäßig als Berater für die Industrie tätig. Die Ausschussmitglieder haben wiederholt ihre feste Überzeugung zum Ausdruck gebracht, dass von Mikrowellen- und HF-Strahlung keine Gefahr ausgeht – abgesehen von thermischen Effekten, die durch einen Anstieg der Gewebetemperatur verursacht werden. Darüber hinaus wurde

der Vorsitzende des SC8-1-Ausschusses, der mit der Leitung der Entwicklung der CDC-NCRP-Informationsw Webseite zur nicht-ionisierenden Strahlung betraut war, laut öffentlich zugänglichen Unterlagen dafür kritisiert, „nicht besonders versiert in Fragen der Hochfrequenzstrahlung“ zu sein. Ebendiese Person hat auch die Risiken elektromagnetischer Felder (EMF) von Hochspannungsleitungen in Frage gestellt und hält entsprechende Befürchtungen für unbegründet. Diese Umstände tragen kaum dazu bei, die anhaltenden Zweifel an den Richtlinien zur Mikrowellen- und Hochfrequenzexposition zu zerstreuen, die nach wie vor in vielen Teilen der Welt bestehen.

Systematische Übersichtsarbeiten des WHO-EMF-Projekts

Die EMF-Projektstelle der Weltgesundheitsorganisation hat kürzlich mehrere systematische Übersichtsarbeiten veröffentlicht, die sie zur Untersuchung der gesundheitlichen Auswirkungen von Mikrowellen- und Hochfrequenzstrahlung durch Mobiltelefone und andere drahtlose Kommunikationstechnologien in Auftrag gegeben hatte. Die Übersichtsarbeiten werden als Teil einer Sonderreihe in der Fachzeitschrift *Environment International* unter der Leitung von Paul Whaley veröffentlicht.

Whaley stellte offenbar bei einem Webinar der Arbeitsgruppe „Navigation Guide“, das am 17. Dezember 2021 von der University of California in San Francisco veranstaltet wurde, als Mitglied des WHO-EMF-Teams gemeinsam mit Emilie van Deventer, Martin Rösli und Jos Verbeek die geplanten Übersichtsarbeiten vor.

Das WHO-EMF-Projekt wurde ins Leben gerufen, um die Auswirkungen der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern und Strahlung im Spektralbereich von 0 bis 300 GHz auf Umwelt und Gesundheit zu bewerten. Zwar geben die Projektverantwortlichen an, dass die Finanzierung durch Beiträge von WHO-Mitgliedstaaten erfolgt, jedoch wird nicht offengelegt, welcher Anteil der WHO-EMF-Finanzierung aus staatlichen oder industriellen Quellen stammt [56]. Tatsächlich wurde eingeräumt, dass bis zu 50 Prozent der für das WHO-EMF-Projekt eingeworbenen Mittel aus Industriequellen stammen, und dass weitere Beiträge in Form von bereitgestellter Arbeitszeit geleistet wurden. Diese Arbeitszeit scheint von Personen erbracht worden zu sein, die Verbindungen zur ICNIRP haben. Es sei darauf hingewiesen, dass eine wichtige Finanzierungsquelle der ICNIRP das deutsche Bundesamt für Strahlenschutz [57] ist.

Seit 2021 veröffentlicht die WHO-EMF-Projektstelle Protokolle zu ihren systematischen Übersichtsarbeiten (systematische Reviews: SR) [58-60]. Jedes Review wurde nach einem detaillierten Protokoll durchgeführt. Im Allgemeinen verwendet die SR-Studienmethodik ein Protokoll zur Gruppierung, Bewertung und Zusammenfas-

sung aller relevanten veröffentlichten Studien zu einem Forschungsthema. Diese Methodik umfasst die Definition des Themas, die Festlegung von Ein- und Ausschlusskriterien, die Bewertung der Studienqualität, die Analyse der Daten sowie die Darstellung der Ergebnisse. Fehler wie eine unzureichende Bewertung der Studienqualität oder der Daten in systematischen Übersichtsarbeiten können jedoch zu irreführenden Schlussfolgerungen führen. Daher wurden verschiedene Empfehlungen für die Durchführung von SRs vorgeschlagen, um deren wissenschaftlichen Wert, Aussagekraft und Nutzen zu verbessern. Ziel ist es, die Wahrscheinlichkeit zu verringern, dass unerfahrene Leser:innen im Hinblick auf das Thema fehlgeleitet werden. Die Übernahme der Schlussfolgerungen eines SRs ohne angemessene Prüfung seiner Richtigkeit, Einschränkungen, Transparenz und Glaubwürdigkeit kann insbesondere für die öffentliche Gesundheitspolitik riskant sein. Zum Beispiel:

(1) Die systematische Überprüfung des WHO-EMF-SR zum Zusammenhang zwischen HF-Exposition und gesundheitsschädlichen Auswirkungen auf die reproduktive Gesundheit (Schwangerschaft und Geburtsergebnis) kam zu dem Schluss, dass die HF-Exposition im Mutterleib keine nachteiligen Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit hat, jedoch vermutlich die Gesundheit der Nachkommen bei der Geburt beeinträchtigt [61]. Hinsichtlich möglicher Spätfolgen einer Exposition im Mutterleib haben HF- und Mikrowellen-Strahlung wahrscheinlich keinen Einfluss auf die Gehirnmasse der Nachkommen und verringern möglicherweise die Fruchtbarkeit weiblicher Nachkommen nicht. Hochfrequenz- und Mikrowellenstrahlung kann zwar schädliche Auswirkungen auf neurobehaviorale Funktionen haben, doch gelten diese Befunde als äußerst unsicher.

Eine detaillierte Bewertung der Qualität dieses SRs und der Relevanz seiner Schlussfolgerungen für schwangere Frauen und ihre Nachkommen folgte kurz darauf in einem peer-reviewten Fachartikel [62]. Die Qualität und Relevanz wurden anhand der in der Übersichtsarbeit zusammengetragenen Artikel und ausgewählten statistischen Methoden überprüft. Obwohl das WHO-EMF-SR als gründlich, wissenschaftlich fundiert und für die menschliche Gesundheit relevant präsentiert wird, wurden zahlreiche Mängel festgestellt, die es als schwerwiegend fehlerhaft und inhaltlich nicht relevant erscheinen lassen. Die identifizierten Mängel führten zu einer Verzerrung der Ergebnisse zugunsten der Schlussfolgerung, es gebe keine überzeugenden Belege für andere Wirkungen als die durch Hochfrequenzstrahlung verursachte Gewebeerwärmung. Tatsächlich zeigt die Analyse jedoch, dass die zugrunde liegenden Daten bei korrekter Berücksichtigung relevanter Studien eine gegenteilige Schlussfolgerung nahelegen: „Es gibt klare Hinweise auf schädliche nicht-thermische Auswirkungen“ durch HF-Strahlung. Die Autoren identifizierten eine Vielzahl von Mängeln, anhand derer sie ein Muster systematischer

Verzerrung aufdecken konnten, das offenbar darauf abzielte, Unsicherheit hinter einem Anschein komplexer wissenschaftlicher Strenge zu verbergen. Für die beteiligten Wissenschaftler war die verzerrte Methodik und die geringe Qualität der systematischen Übersichtsarbeit höchst besorgniserregend, „da sie die Vertrauenswürdigkeit und Professionalität des WHO-EMF-Projekts im Bereich gesundheitlicher Risiken durch menschengemachte Hochfrequenzstrahlung ernsthaft zu untergraben droht.“

(2) Das WHO-EMF-SR zu Beobachtungsstudien am Menschen [63] über Migräne, Kopfschmerzen, Tinnitus, Schlafstörungen und unspezifische Symptome in der Allgemein- und Erwerbsbevölkerung kam zu dem Schluss, dass die geprüfte wissenschaftliche Evidenz die Sicherheit der derzeit geltenden ICNIRP-Richtlinien zur Hochfrequenzexposition stützt [16]. Eine anschließende kritische Bewertung durch drei angesehene, erfahrene Wissenschaftler dokumentierte erhebliche Mängel an dem von der WHO in Auftrag gegebenen SR und forderte dessen Rücknahme [64]. Die Metaanalyse der wenigen, stark voneinander abweichenden Primärstudien zu den untersuchten Kombinationen von Exposition und Ergebnis erweist sich als äußerst unzureichend. Die Anzahl der Studien ist sehr gering, und ihre methodische Qualität lässt deutlich zu wünschen übrig. Die von Fachkollegen begutachtete Kritik gelangte entsprechend zu der Einschätzung, dass die derzeitige Datenlage weder eine Bestätigung noch eine Widerlegung der Sicherheit der aktuellen Empfehlungen zulässt.

(3) Skepsis wurde auch geäußert gegenüber einem dritten WHO-EMF-SR zu HF-induziertem oxidativen Stress [65]. Die Studie identifizierte 11.599 Artikel zu oxidativem Stress im Spektrum von 800 bis 2.450 MHz und lehnte dann 11.543 Studien als nicht den Einschlusskriterien entsprechend ab. Von den verbleibenden 56 Artikeln entfallen 45 auf Tierstudien und 11 auf *in vitro*-Zelluntersuchungen. Die verbleibenden Studien wiesen überwiegend eine hohe Heterogenität auf. Die Ergebnisse zu oxidativen Stressreaktionen bei den untersuchten Versuchspersonen waren uneinheitlich. Eine Reaktion auf Hochfrequenz- und Mikrowellenexposition kann auftreten – muss aber nicht. Die Aussagekraft der Daten ist insgesamt als gering einzustufen.

Henry Lai, ein renommierter Forscher auf dem Gebiet oxidativer Reaktionen durch Hochfrequenzstrahlung, führt seit vielen Jahren eine umfassende Bibliografie wissenschaftlicher Artikel zum Thema HF-induzierter oxidativer Stress [47]. Im August 2024 umfasste seine Datei 367 Artikel, die zwischen 1997 und 2024 veröffentlicht wurden und von denen 89 % signifikante Reaktionen zeigten. Seiner Einschätzung zufolge hat das WHO-EMF-Review einen großen Teil der Studien zum HF-induzierten oxidativen Stress ausgelassen und offenbar im Wesentlichen nur oxidative molekulare Reaktionen unter den möglichen oxidativen Antworten berücksich-

tigt. Wie es scheint, wurden rund 99,5% der relevanten Studien aufgrund methodischer Ausschlusskriterien nicht einbezogen.

(4) Die systematische Überprüfung des WHO-EMF-SR zu epidemiologischen Studien am Menschen trägt den Untertitel „Most Researched Outcomes“ [81]. Ziel dieses SRs war es, Qualität und Aussagekraft der Evidenz aus epidemiologischen Humanstudien hinsichtlich eines möglichen kausalen Zusammenhangs zwischen Hochfrequenzexposition und dem Risiko der am häufigsten untersuchten neoplastischen Erkrankungen zu bewerten. Die Studie wählte 63 zwischen 1994 und 2022 veröffentlichte Artikel aus. Sie kam zu dem Schluss, dass die HF-Exposition durch Mobiltelefone nicht mit einem erhöhten Risiko für Gliome, Meningeome, Akustikusneurinome, Hypophysentumoren oder Tumoren der Speicheldrüsen verbunden ist. Die Schlussfolgerung legte nahe, dass sich das relative Risiko für die häufigsten Neoplasien – Gliom, Meningeom und Akustikusneurinom – weder mit zunehmender Nutzungsdauer noch mit kumulierter Gesprächszeit oder Anrufanzahl erhöht. Die Botschaft ist klar: Es gibt kaum Belege, die eine anhaltende Besorgnis über ein mögliches Krebsrisiko rechtfertigen würden. Über dieses WHO-EMF-SR wurde in vielen westlichen Medien berichtet. Tatsächlich gibt es in dieser Übersicht nur wenige neue Daten. Die wissenschaftliche Evidenz zu diesem Thema wird kontrovers diskutiert und unterschiedlich bewertet. Die unvermeidliche Frage lautet: „Ist diese Übersicht wirklich das letzte Wort in der langjährigen Debatte über ein mögliches Krebsrisiko durch Mobilfunkstrahlung?“ Die Antwort ist ein klares Nein, ganz im Gegenteil!

Das Portal Microwave News [66] veröffentlichte einen sorgfältig recherchierten Untersuchungsbericht im historischen Kontext des WHO-EMF-Krebs-SRs. „Dies ist nur der jüngste Schachzug der üblichen Verdächtigen bei der ICNIRP und der WHO, die seit 20 Jahren ähnliche Behauptungen aufstellen.“ Vor fünf Jahren unternahm der Hauptautor [81] zusammen mit einigen Mitgliedern desselben Teams ähnliche Anstrengungen, um die HF-Krebs-Debatte mit im Wesentlichen derselben No-Risk-Botschaft zu beenden. Allerdings wurde dies von der wissenschaftlichen Gemeinschaft „nicht gut aufgenommen“. Offensichtlich wurden Personen über 59 Jahre – die größte Gruppe der Hirntumorerkrankten – aus der Analyse ausgeschlossen. Das No-Risk-Ergebnis wurde im Wesentlichen durch diese Entscheidung geprägt.

Es sei daran erinnert, dass die IARC im Jahr 2011 die Exposition gegenüber HF-Strahlung aufgrund epidemiologischer Erkenntnisse beim Menschen als ‚möglicherweise krebserregend‘ für den Menschen eingestuft hat [34]. Die IARC stimmte zu, dass die epidemiologischen Beobachtungen beim Menschen ein erhöhtes Risiko für Gliome, eine bösartige Form von Hirntumoren, und für gutartige Schwannome des Vestibularnervs bei intensi-

ven oder langjährigen Nutzern von Mobiltelefonen zeigten. Sie befand die epidemiologischen Belege als hinreichend belastbar, um die Einstufung zu rechtfertigen. Wie bereits beschrieben, zeigten nachfolgende Ergebnisse aus Tierversuchen des NIH-NTP zwei Arten von Krebs bei Laborratten, die lebenslang HF-Strahlung von Mobiltelefonen ausgesetzt waren [37, 38]. Ergänzt wurden die Ergebnisse durch eine weitere groß angelegte Tierstudie, in der Ratten derselben Rasse lebenslang HF-Strahlung ausgesetzt waren (Ramazzini-Institut, Italien) [41].

Unter normalen Umständen hätten die Ergebnisse der WHO-IARC, des NIH-NTP und des Ramazzini-Instituts vermutlich ausgereicht, um die Einstufung von ‚möglicherweise krebserregend‘ auf ‚wahrscheinlich krebserregend‘ oder höher anzuheben. In diesem Zusammenhang ist besonders bemerkenswert, dass Forschende des NTP und des Ramazzini-Instituts in einer aktuellen Studie genetische Veränderungen in HF-induzierten Tumoren bei Ratten untersucht haben. Dabei charakterisierten sie molekular jene Krebsgene, die für die Entstehung von Gliomen beim Menschen von Bedeutung sind [42]. Die Daten deuten darauf hin, dass die bei Ratten beobachteten Gliome histologisch jenen niedriggradigen Gliomen beim Menschen ähneln.

Eine jüngste Veröffentlichung des von der WHO-EMF-Projektstelle in Auftrag gegebenen SRs untersuchte die Auswirkungen der HF-Exposition auf Krebs bei Versuchstieren [67]. Sie umfasste alle 52 veröffentlichten Studien mit 20 chronischen Bioassays. Keine der veröffentlichten Studien wurde aus dem SR ausgeschlossen, um das Risiko einer Verzerrung zu minimieren. In dieser systematischen Übersicht wurde ein Anstieg der Inzidenz oder des Risikos für zwei Tumorarten festgestellt. Besonders auffällig war ein Anstieg gliazellbasierter Hirntumoren in zwei lebenslangen Bioassays mit männlichen Ratten. Die Sicherheit der Evidenz für ein erhöhtes Risiko für Gliome wurde als hoch eingestuft. Außerdem wurde in drei chronischen Bioassays ein statistisch signifikanter Anstieg maligner Schwannome im Herzen männlicher Ratten nachgewiesen. Diese Schlussfolgerung steht zwar im Widerspruch zu den Interpretationen der ICNIRP und möglicherweise auch des WHO-EMF-Projektbüros selbst, deckt sich jedoch mit den Ergebnissen von NIH-NTP, Ramazzini und Brooks et al. (2024).

Die Kritik an den veröffentlichten systematischen Übersichtsarbeiten des WHO-EMF-Projekts – mit Ausnahme der jüngsten – ist erheblich und reicht bis hin zu Forderungen nach deren Rücknahme. Eine Überprüfung der Übersichtsarbeiten offenbart erhebliche Mängel. Neben der mangelnden wissenschaftlichen Qualität und der unausgewogenen Darstellung fällt eine erkennbare Voreingenommenheit auf – geprägt von der festen Annahme, dass Hochfrequenz-Mikrowellenstrahlung ungefährlich sei. Die wenig subtile Botschaft, dass Mobiltelefone kein Krebsrisiko darstellen, ist unübersehbar. Die syste-

matischen Übersichtsarbeiten zeigen kaum Sensibilität im Umgang mit Interessenkonflikten und unterstützen auffallend deutlich die kürzlich veröffentlichten ICNIRP-Richtlinien zur Hochfrequenzexposition im Hinblick auf die menschliche Gesundheit.

Von Anfang an hatte die WHO-EMF-Projektstelle enge Verbindungen zur ICNIRP – einer privaten Organisation, die häufig als wissenschaftliches Sekretariat des WHO-EMF-Projekts bezeichnet wird [68]. Was bei den meisten systematischen Übersichtsarbeiten des WHO-EMF-Projekts vielleicht nicht so offensichtlich ist, ist die mangelnde Meinungsvielfalt und die damit verbundene Gefahr von Gruppendenken. Zahlreiche ICNIRP-Beauftragte und Ausschussmitglieder mit unterschiedlichem Fachwissen sind als Autoren der systematischen Übersichtsarbeiten des WHO-EMF-Projekts aufgeführt, einige davon sogar als Hauptautoren. Dies verschärft die Bedenken hinsichtlich der Unabhängigkeit der Gutachter:innen und wirft Fragen zu möglichen Interessenkonflikten auf.

Ein Paradigmenwechsel

Das Forschungslabor der US-Luftwaffe berichtete, dass eine Bisulfit-Sequenzierung des gesamten Genoms unmittelbar nach der HF-Exposition Veränderungen der DNA-Methylierungsmuster sowie frühzeitig unterschiedlich methylierte Gene in menschlichen Hautkeratinozyten aufzeigte [69]. Das Ergebnis unterstreicht eine mögliche epigenetische Rolle bei der zellulären Reaktion auf HF-Strahlung. Der Bericht deutete ferner darauf hin, dass sich die Ergebnisse als epigenetische Biomarker für unmittelbare Reaktionen auf eine HF-Exposition eignen könnten.

Die DNA-Methylierung ist ein epigenetischer Mechanismus zur Regulation der Genexpression. Er ist dynamisch und kann durch äußere Reize wie UV-Strahlung ausgelöst werden. Im Rahmen der Untersuchung wurden kultivierte menschliche Keratinozyten 1 Stunde lang unter kontrollierten Bedingungen (37 °C, 5 % CO₂, 95 % Luftfeuchtigkeit) einer 900-MHz-HF-Strahlung mit niedriger SAR (<0,01 W/kg) in einem speziell angefertigten Expositionssystem ausgesetzt. Der Schwellenwert für sichere HF-Effekte liegt nach aktuellen Standards bei 4 W/kg. Es wurden sechs häufige epigenetische Ziele identifiziert, die sowohl unterschiedlich methyliert als auch unterschiedlich exprimiert waren als Reaktion auf die HF-Exposition. Der spezifische methodische Ansatz umfasste die Verknüpfung globaler Genexpressionsprofile mit einer vollständigen Bisulfit-Sequenzierung des Genoms. (Die Untersuchung identifizierte außerdem 114 Gene, die unmittelbar nach einer einmaligen einstündigen HF-Exposition signifikant unterschiedlich methyliert waren.)

Diese Ergebnisse unterstreichen nicht nur eine mögliche epigenetische Rolle bei der zellulären Reaktion auf eine geringe HF-Exposition, sondern markieren einen Para-

digmenwechsel: Eine wissenschaftliche Untersuchung eines US-amerikanischen Militärforschungslabors meldet erstmals eine zytogenetische Reaktion [52]. Genauer gesagt deuten die Ergebnisse auf eine epigenetische Beteiligung an der zellulären Antwort auf niedrig dosierte Hochfrequenz-Strahlung hin – möglicherweise mit weitreichenden Auswirkungen auf die Genaktivität.

Ein weiteres Beispiel: Die Forschungslabors der US-Armee und -Luftwaffe [70] führten kürzlich eine Computersimulationsstudie zu den akustischen Auswirkungen von Mikrowellen auf ein anatomisches Kopfmodell durch – unter Anwendung derselben Methodik wie in früheren numerischen Studien [30, 32, 71-73]. Die Computersimulation zeigte, dass bei einer Exposition gegenüber 1-GHz-Hochleistungs-Mikrowellenimpulsen im Gehirn ein erheblicher akustischer Druck auftreten kann – mit potenziell neuropathologischen Folgen [70]. Die Ergebnisse der Simulation wurden mit zuvor definierten, mechanisch induzierten Druckschwellen für Belastungen und Beanspruchungen verglichen, wie sie im Zusammenhang mit traumatischen Hirnverletzungen auftreten. Der Bericht zeigte, dass bei einer Impulsdauer von 5 Mikrosekunden und einer Frequenz von 1 GHz eine Spitzenleistungsdichte von 10 bzw. 15 W/m² erforderlich ist, um Grenzdrücke von 10 bzw. 20 kPa zu erreichen – Werte, die typischerweise bei explosiven Hirnverletzungen oder durch Kopftreffer beim Fußball beobachtet werden.

Die erforderlichen Spitzenleistungsdichten sind zwar hoch, jedoch mit bestehenden kommerziellen und militärischen Hochleistungs-Mikrowellensystemen unter gepulsten Betriebsbedingungen erreichbar [70]. Diese Erkenntnis mag für einige überraschend sein, obwohl sie bereits aus früheren Forschungen bekannt ist [30-32]. Bezeichnenderweise liegen sie auch innerhalb der zulässigen „sicheren“ Grenzwerte der derzeit geltenden Sicherheitsstandards und Schutzrichtlinien. Die dafür erforderliche Mikrowellentechnologie ist ausgereift und in vielen Ländern allgemein kommerziell verfügbar.

Die Studie ergab zudem, dass die zur Erzeugung gewebeverletzender akustischer Druckwellen erforderliche Temperaturerhöhung durch Mikrowellenimpulse deutlich unter dem als Schwellenwert für Hochfrequenzeffekte geltenden Wert von 1°C liegt – einem Wert, der als ‚sicher‘ eingestuft wird. Die Exposition wäre demnach gemäß den derzeit geltenden Schutzrichtlinien für Hochfrequenz- und Mikrowellenstrahlung zulässig.

Im Jahr 2017 kündigte die US-amerikanische Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) eine neue Forschungsinitiative an: RadioBio: Welche Rolle spielen elektromagnetische Signale in biologischen Systemen? [74, 75] Ziel dieses Projekts war es, festzustellen, ob eine gezielte Signalübertragung zwischen biologischen Systemen über elektromagnetische Wellen existiert und wenn ja, Wege zu finden, um zu definieren, welche In-

formationen übertragen werden.

Das Ziel von RadioBio ist innovativ, und das Projekt selbst wirkt faszinierend. Es deutet möglicherweise auf einen Paradigmenwechsel in den Standardarbeitsanweisungen (SOP) des US-Militärs hin – weg von der bisherigen Annahme, dass elektromagnetische Felder und Wellen ausschließlich thermische Effekte hervorrufen. Die neuen Initiativen eröffnen offenbar die Möglichkeit, schwache, nicht-thermische biologische Reaktionen auf Hochfrequenzexposition zu erforschen – und möglicherweise auch gezielt zu nutzen.

Die RadioBio-Initiativen stoßen einen Prozess an, um systematisch zu erforschen, welche Rolle schwache elektromagnetische Felder in der komplexen Biologie lebender Zellen und Organismen spielen könnten. Die Initiativen sind nicht nur von grundlegender wissenschaftlicher Bedeutung, sondern haben auch praktische und technologische Bedeutung. Wenn die bioelektromagnetischen Mechanismen für schwache Zell-zu-Zell-Kommunikation nutzbar gemacht werden können, eröffnen sich enorme Möglichkeiten – etwa für Datenübertragung, Informationsabruf, Kommunikation und Sensorik in Steuerungs- und Kontrollsystemen.

Vielleicht lassen sich die jüngsten Veröffentlichungen einiger militärischer Forschungslabore als Vorboten weiterer Entwicklungen deuten. Ein Beispiel hierfür ist der Bericht über den Nachweis von HF-Strahlung, die vom Mikroorganismus *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) in Biofilmen ausgeht [76], sowie die zugehörige Folgepublikation [77]. Die Studie wurde offenbar vom RadioBio-Programm der DARPA finanziert.

Es sei darauf hingewiesen, dass über Wechselwirkungen zwischen HF- und elektromagnetischen Feldern mit biofilmassoziierten Mikroorganismen und *S. aureus* bereits berichtet wurde [78, 79]. Insbesondere konnte gezeigt werden, dass die Exposition gegenüber modulierten elektromagnetischen Feldern und Mobilfunk-HF-Signalen (z. B. WLAN) die Reaktion von Biofilm-Bakterien beeinflusst – und sowohl Veränderungen in der Expression von Boten-RNAs als auch morphologische Veränderungen hervorruft. Biofilme oder bakterielle Biofilme bestehen aus Mikroorganismen wie *S. aureus* oder *Escherichia coli* (*E. coli*), bei denen Zellen aneinanderhaften, sich an Oberflächen anlagern und dort wachsen. Diese adhären Zellen produzieren und bilden extrazelluläre Matrizen aus polymeren Substanzen, die zu einem veränderten Phänotyp der Organismen mit variabler Wachstumsrate und Gentranskription führen.

Die von RadioBio finanzierten Arbeiten berichteten über den erfolgreichen Nachweis von HF-Strahlung aus *S. aureus*-Biofilmen in den Frequenzbändern 3,18 GHz und 3,45 GHz mittels eines radiometrischen Detektors. Es wurden sowohl kurz- als auch langfristige Schwankun-

gen in der Intensität der Strahlung beobachtet. Um zu überprüfen, ob die HF-Signale tatsächlich von lebenden Zellen erzeugt werden, wurde der Probe eine tödliche Dosis von Zinkoxid-Nanopyramiden (ZnO-NPY) verabreicht. Die Ergebnisse zeigten eine deutliche Abnahme der Intensitätsschwankungen der detektierten HF-Signale vor und nach der ZnO-NPY-Behandlung. Diese Beobachtung ist entscheidend für den Nachweis der Lebensfähigkeit von *S. aureus*-Biofilmen im Zusammenhang mit den detektierten HF-Signalen. Dennoch bleibt die Entstehung, Natur oder Quelle der detektierten HF-Signale unklar. Es stellt sich die Frage, in welchem Zusammenhang das detektierte Signal mit der Aktivität lebender bakterieller Biofilme steht. Die vorliegenden Daten schließen nicht aus, dass dynamische Prozesse innerhalb der lebenden Biofilme stattfinden, die als Signale und nicht als Artefakte interpretiert werden könnten.

Vergleichende Experimente, bei denen die HF-Intensitäten von Pepton-NaCl-Glukose-(PNG)-Medien mit Biofilmen (Biofilmproben) denen von frischem, biofilmfreiem PNG-Medium (PNG-Proben) gegenübergestellt wurden, sind aufschlussreich. Der Unterschied in den gemessenen Intensitätswerten über mehrere Größenordnungen zwischen den Biofilmproben und den PNG-Proben ist wenig überraschend. Es wurde nachgewiesen, dass *S. aureus*-Biofilme, die in PNG-Medium kultiviert wurden, eine erhöhte Resistenz gegenüber Zerfall und Abbau aufweisen. [80].

In einer weiteren Versuchsreihe wurden die Biofilme einem sinusförmigen Signal mit einer HF-Frequenz von 3,18 GHz ausgesetzt. Die Biofilmproben zeigten nach der Exposition mit 3,18-GHz-Strahlung stärkere HF-bezogene Eigenschaften. Darüber hinaus wurde ein ähnlicher Versuch mit einer anderen Frequenz (6,3 GHz) zum Vergleich durchgeführt. In diesem Fall wurde weder bei den exponierten noch bei den nicht exponierten Biofilmproben HF-Strahlung nachgewiesen.

Die Interpretation dieser Beobachtungen als Bestätigung für die Existenz von HF-Strahlung, die von *S. aureus*-Biofilmen erzeugt wird, sowie als Hinweis auf eine aktive Reaktion der Biofilme auf externe HF-Signale ist verwirrend. Angesichts der Versuchssituation liegen selbst innerhalb einer schalltoten Kammer die Frequenzbänder von 3,18 GHz und 3,45 GHz für die nachgewiesenen HF-Signale im Bereich des allgegenwärtigen Spektrums der Mobilfunkkommunikation. Im Gegensatz dazu ist die Frequenz von 6,3 GHz deutlich von den 3-GHz-Bändern getrennt und keine häufig vorkommende Spektralkomponente im allgegenwärtigen Bereich der drahtlosen Telekommunikation. Darüber hinaus könnten auch Fragen der elektromagnetischen Verträglichkeit und Interferenzen oder Störsignale von aktiven Instrumenten und Oszillatoren innerhalb der HF-Absorberkammer potenzielle Komplikationen darstellen.

Diskussion und Schlussfolgerung

Die öffentlichen Gesundheitsbedenken hinsichtlich der biologischen Auswirkungen und der Sicherheit der HF-Exposition durch Funktechnologien nehmen mit der rasanten Verbreitung mobiler Telekommunikationssysteme und -geräte stetig zu. Zudem besteht ein zunehmender Zweifel an der Wirksamkeit der geltenden Grenzwerte, Vorschriften und Empfehlungen zum Schutz vor drahtloser HF-Strahlung – einschließlich jener für 5G, das von diesen Geräten und Systemen genutzt wird. Die derzeit gültigen Richtlinien und Standards zur HF-Strahlenexposition konzentrieren sich überwiegend auf die Begrenzung kurzfristiger Erwärmungseffekte, die durch erhöhte Gewebetemperaturen verursacht werden.

Die ICNIRP-Richtlinien und IEEE/ICES-Normen weisen erhebliche Unstimmigkeiten und Widersprüche auf. Zusätzlich erschweren die voreingenommene Bewertung der wissenschaftlichen Datenbanken und weniger vertrauenswürdige Bewertungen – etwa die jüngsten systematischen Übersichtsarbeiten unter WHO-Förderung – eine sichere Beurteilung. Einige der Sicherheitsrichtlinien sind irrelevant, umstritten und erscheinen aus Sicht des Bevölkerungs- und Gesundheitsschutzes wissenschaftlich nicht begründet.

Die vollständige Anerkennung eines Risikos für die öffentliche Gesundheit braucht Zeit – und angesichts des rasanten Tempos der technologischen Entwicklungen und der Geschwindigkeit, mit der sie auf den Markt gebracht werden, verzögert sich dieser Prozess noch weiter. Das Postulat „Vorsicht ist besser als Nachsicht“ scheint fast vollständig verschwunden zu sein [39]. Allein seine Erwähnung ruft unter den gegenwärtigen Umständen leicht heftige Reaktionen hervor, mit massivem Widerstand vonseiten derjenigen, die möglicherweise von den massiven Marketingbemühungen profitiert haben. Aber ist angesichts der zunehmenden Verbreitung digitaler Geräte die Prämisse einer „Vorbeugung“ gegen HF-Strahlung durch Mobiltelefone und ähnliche drahtlose Kommunikationsgeräte wirklich so abwegig?

Die Frage, wie es zu so unterschiedlichen Bewertungen und Schlussfolgerungen derselben wissenschaftlichen Studien kommen kann, wird seit einiger Zeit diskutiert. Wenn Richtlinien in der Forschung nicht konsequent umgesetzt oder Interessenkonflikte nicht offengelegt werden, leidet die Transparenz wissenschaftlicher Bewertungen – und damit auch der Schutz der öffentlichen Gesundheit. Menschen sind nicht unbedingt konsequent oder so vernünftig, wie man annimmt. Es ist bekannt, dass Politiker häufig Entscheidungen treffen, um ihre eigenen Interessen zu fördern oder politische Vorteile zu erlangen. Fairerweise muss man sagen, dass auch Wissenschaftler:innen von egoistischen Motiven getrieben sein können und nicht immun gegen Interessenkonflikte sind. Tatsächlich war die Wissenschaft noch nie frei von

Politik – ob man das nun gut findet oder nicht. Menschen treffen regelmäßig Entscheidungen und Urteile, die einer klaren Logik widersprechen. Vorurteile können das rationale Denken beeinträchtigen und zu fehlerhaften Entscheidungen führen. „Gruppendenken kann Menschen davon abhalten, vernünftig zu sein, und das Erreichen evidenzbasierter Schlussfolgerungen verhindern“ [30]. Bedauerlicherweise ist Gruppendenken oder Herdenmentalität heute so verbreitet wie eh und je. „Ist die Wissenschaft parteiisch geworden? Und wenn sie es ist – bleibt sie dann noch Wissenschaft, oder wird sie zur Politik? Oder handelt es sich dann um politische Wissenschaft? Vielleicht hat sich die Wissenschaft in politische Interessen verstrickt, während sich die Politik zunehmend in wissenschaftliche Prozesse einmischt – eine Frage der gutgläubigen politischen Korrektheit der Willigen“ [82]. Wenn Entscheidungen aufgrund von Kompromissen oder ohne sorgfältige Abwägung der wissenschaftlichen Informationen getroffen werden, können sie aufgrund von Vorurteilen zu falschen Schlussfolgerungen führen.

Mobiltelefone und drahtlose Mobilfunktechnologien haben das Leben der Menschen bereichert. Ein Leben ohne sie ist heute kaum noch vorstellbar. Die Einführung der 5G-Mobilfunktechnologie ist mit ihren vielversprechenden Leistungsfähigkeiten der mm-Wellen in vollem Gange. Angesichts der wenigen Untersuchungen zu den gesundheitlichen Auswirkungen von 5G-mm-Wellen ist unklar, ob diese Auswirkungen mit denen früherer Generationen von Mobiltelefonen und drahtlosen Kommunikationstechnologien vergleichbar sind. Es steht außer Frage, dass Mobiltelefone in vielen Bereichen des menschlichen Lebens direkte Vorteile gebracht haben – nicht zuletzt bei der Gewährleistung unserer persönlichen Sicherheit. Dennoch ist die Frage nach der Gesundheit und der Sicherheit von Milliarden von Nutzern, die über einen längeren Zeitraum oder sogar ihr ganzes Leben lang wiederholt unnötigen HF-Strahlungswerten ausgesetzt sind, noch nicht geklärt. Es ist wichtig zu beachten, dass Mobiltelefone eine SAR zwischen 0,2 und 0,5 W/kg aufweisen [83]. Es ist klar, dass Mobiltelefone mit einem Bruchteil der von IEEE-ICES und ICNIRP akzeptierten SAR-Werten betrieben werden. Es erscheint möglich, dass zukünftige technologische Entwicklungen Mobiltelefonfunktionen, einschließlich der Datenübertragung, bei deutlich geringeren Expositionswerten ermöglichen. Daher sollte bei der Bewertung der Gesundheit und Sicherheit von HF-Strahlung angesichts der so unterschiedlichen Einschätzungen der drahtlosen HF-Strahlung der ALARA-Grundsatz (as low as reasonably achievable – so niedrig wie vernünftigerweise möglich) befolgt werden.

Wie bereits erwähnt, hat die kürzlich angekündigte Einstellung des NIH-NTP-Forschungsprogramms zu den Auswirkungen von HF-Strahlung auf die Entstehung von Krebs die meisten, wenn nicht sogar alle von der zivilen

US-Regierung geförderten biologischen Forschungen zu HF-Strahlung zum Erliegen gebracht. Andererseits scheint die RadioBio-Initiative einen Paradigmenwechsel in den Standardarbeitsanweisungen des US-Militärs anzudeuten, weg von der Überzeugung, dass HF- und Mikrowellenstrahlung ausschließlich thermische Auswirkungen haben. Die neuen Initiativen ermöglichen offenbar die Erforschung (und möglicherweise auch die Nutzung) von nicht-thermischen biologischen Reaktionen auf HF-Strahlung in niedrigen Dosen. In dieser Hinsicht könnten die jüngsten Veröffentlichungen einiger militärischer Forschungslabors als Vorboten für weitere Entwicklungen dienen. Diese Ergebnisse rücken ein ungewöhnliches Ereignis in den Fokus, einen Paradigmenwechsel, bei dem eine wissenschaftliche Untersuchung eines US-Militärforschungslabors über eine zytogenetische Reaktion oder genauer gesagt über eine epigenetische Rolle der zellulären Reaktion auf geringe HF-Exposition berichtet, die möglicherweise erheblichen Einfluss auf die Genaktivität nimmt.

Beiträge der Autoren

JL: Beschaffung von Finanzmitteln, Verfassen – Überprüfung und Bearbeitung, Überwachung, Verfassen – Originalentwurf, Untersuchung, Formale Analyse, Software, Datenkuratierung, Konzeption, Ressourcen, Projektverwaltung, Validierung, Methodik, Visualisierung.

Finanzierung

Die Autoren erklären, dass sie für die Forschung und/oder Veröffentlichung dieses Artikels keine finanzielle Unterstützung erhalten haben.

Interessenkonflikt

Der Autor erklärt, dass die Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Beziehungen durchgeführt wurde, die als potenzieller Interessenkonflikt ausgelegt werden könnten.

Erklärung zur generativen KI

Der Autor erklärt, dass bei der Erstellung dieses Manuskripts keine generative KI verwendet wurde.

Hinweis des Verlags

Alle in diesem Artikel vertretenen Ansichten spiegeln ausschließlich die Meinung der Autoren wider und entsprechen nicht zwingend denen der jeweiligen Institutionen, des Verlags, der Herausgeber oder der Gutachter. Bewertungen von Produkten sowie Aussagen ihrer Hersteller werden vom Verlag weder garantiert noch empfohlen.

Referenzen

1. Statista. *Number of mobile devices worldwide 2020-2025* Federica Laricchia. London. (2023).
2. Worldometer. World population (2024). Available online at: <https://www.worldometers.info/world-population> (Accessed November 16, 2024).
3. Pew Research. Fact sheet (2024). Available online at: <https://www.pewresearch.org/internet/fact-sheet/mobile> (Accessed November 16, 2024).
4. Michaelson, SM. The tri-service program – a tribute to George M. Kanuf, USAF (MC). *IEEE Trans Microw Theory Techn.* (1971) 19:131–46. doi: 10.1109/TMTT.1968.1127475 [Crossref Full Text](#)
5. Michaelson, SM, and Lin, JC. *Biological effects and health implications of radiofrequency radiation*. New York: Plenum Press (1987).
6. Schwan, HP. Early history of bioelectromagnetics. *Bioelectromagnetics.* (1992) 13:453–67. doi: 10.1002/bem.2250130604 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)
7. Susskind, C ed. *Proceedings of the third annual tri-Service conference on biological effects of microwave radiating equipment*. Berkeley: University of California (1959).
8. Steneck, NH. *The microwave debate*. USA: MIT Press (1984).
9. ANSI/IEEE. *American national standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 300 kHz to 300 GHz. ANSI C95.1–1982*. New York: IEEE (1982).
10. NCRP. *Radiofrequency electromagnetic fields, properties, quantities and units, biophysical interactions, and measurements*. NCRP Report No. 67. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements (1982).
11. NCRP. *Biological effects and exposure criteria for radiofrequency electromagnetic fields*. NCRP Report No. 86. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements (1986).
12. ANSI/IEEE. *Safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. IEEE, New York: ANSI/IEEE C95.1.* (1992).
13. FCC. *Evaluating compliance with FCC specified guidelines for human exposure to radiofrequency radiation*. Washington, DC: Federal Communications Commission, Office of Engineering and Technology, OET Bulletin 65 (1996).
14. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* (1998) 74:494–522.
15. IEEE-ICES. *(IEEE international committee on electromagnetic safety). IEEE C95.1 standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz*. New York: IEEE (2006).
16. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Phys.* (2020) 118:483–524.
17. Elkind, P. *How the FCC shields cellphone companies from safety concerns*. Washington, DC: ProPublica (2022).
18. ICBE-EMF. Scientific evidence invalidates health assumptions underlying the FCC and ICNIRP exposure limit determinations for radiofrequency radiation: implications for 5G. *Environ Health.* (2022) 21:92. doi: 10.1186/s12940-022-00900-9 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)
19. Investigate Europe. How much is safe. (2019). Available online at: <https://www.investigateeurope.eu/en/2019/howmuch-is-safe> (Accessed March 25, 2022).
20. Koepfel, B. Federal court instructs FCC to review electromagnetic radiation standards. (2022). Available online at: <https://washingtonspectator.org/fcc-electromagnetic-radiation> (Accessed March 9, 2022).
21. Lin, JC. Incongruities in recently revised radiofrequency exposure guidelines and standards. *Environ Res.* (2023a) 222:115369. doi: 10.1016/j.envres.2023.115369 [Crossref Full Text](#)
22. Lin, JC. RF health safety limits and recommendations. *IEEE Microw Mag.* (2023b) 24:18–77. doi: 10.1109/MMM.2023.3255659 [Crossref Full Text](#)
23. IEEE-ICES. *Standards for safety levels with respect to human exposure to electric, magnetic, and electromagnetic fields, 0 Hz to 300 GHz (revision of IEEE Std C95.1–2005/ incorporates IEEE Std C95.1-2019/Cor 1–2019)*. New York: IEEE (2019).
24. Lin, JC. Hyperthermia therapy In: JG Webster, editor. *Encyclopedia of electrical and electronics engineering*, vol. 9. New York: Wiley (1999). 450–60.
25. NIH-NCI. Hyperthermia to treat cancer. (2021). Available online at: <https://www.cancer.gov/aboutcancer/>

[treatment/types/hyperthermia#hyperthermiatreatment-research](#) (Accessed September 27, 2021).

26. Watmough, DJ, and Ross, WM eds. *Hyperthermia*. Glasgow: Blackie (1986).

27. 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. doi: 10.1002/bem.2250050211 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)

28. De Lorge, JO, and Ezell, CS. Observing-responses of rats exposed to 1.28- and 5.62-GHz microwaves. *Bioelectromagnetics*. (1980) 1:183–98. doi: 10.1002/bem.2250010208 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)

29. Lin, JC, Guy, AW, and Caldwell, L. Thermographic and behavioral studies of rats in the near field of 918 MHz radiations. *IEEE Trans Microw Theory Tech*. (1977) 25:833–6. doi: 10.1109/TMTT.1977.1129223 [Crossref Full Text](#)

30. Lin, JC. *Auditory effects of microwave radiation*. Switzerland: Springer (2021).

31. Lin, JC. The microwave auditory effect. *IEEE J Electromagn RF Microwaves Med Biol*. (2022a) 6:16–28. doi: 10.1109/JERM.2021.3062826 [Crossref Full Text](#)

32. Lin, JC. Microwave auditory effects among US government personnel reporting directional audible and sensory phenomena in Havana. *IEEE Access*. (2022b) 10:44577–82. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3168656 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)

33. Nyberg, NR, McCredden, JE, Weller, SG, and Hardell, L. The European Union prioritises economics over health in the rollout of radiofrequency technologies. *Rev Environ Health*. (2022) 39:47–64. doi: 10.1515/reveh-2022-0106 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)

34. Baan, R, Grosse, Y, Lauby-Secretan, B, El Ghissassi, F, Bouvard, V, Benbrahim-Tallaa, L, et al. IARC monograph working group. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *Lancet Oncol*. (2011) 12:624–6. doi: 10.1016/S1470-2045(11)70147-4 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)

35. IARC. Working group on the evaluation of carcinogenic risks to humans non-ionizing radiation, part 2: radiofrequency electromagnetic fields. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum*. (2013) 102:1–460.

36. Lin, JC. Cancer occurrences in laboratory rats from exposure to RF and microwave radiation. *IEEE journal of electromagnetics. RF Microwaves Med Biol (JERM)*. (2017a) 1:2–13. doi: 10.1109/JERM.2017.2721427 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)

37. NIH-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 cellphones*. NTP Tech. Rep. 595,. Raleigh, NC: NIH-NTP (2018).

38. Wyde, ME, Horn, TL, Capstick, MH, Ladbury, JM, Koepke, G, Wilson, RF, et al. Effect of cellphone radiofrequency radiation on body temperature in rodents: pilot studies of the national toxicology program's reverberation chamber exposure system. *Bioelectromagnetics*. (2018) 39:190–9. doi: 10.1002/bem.22116 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)

39. Lin, JC. Changing the conversation on cell phone RF radiation carcinogenesis. *IEEE Microw Mag*. (2016) 17:21–3. doi: 10.1109/MMM.2016.2589202 [Crossref Full Text](#)

40. Lin, JC. The NTP cell phone radio frequency radiation health effects project. *IEEE Microw Mag*. (2017b) 18:15–7. doi: 10.1109/MMM.2016.2616239 [Crossref Full Text](#)

41. Falcioni, L, Bua, L, Tibaldi, E, Lauriola, M, De Angelis, 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 radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. *Environ Res*. (2018) 165:496–503. doi: 10.1016/j.envres.2018.01.037 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)

42. Brooks, AM, Vornoli, A, Kovi, RC, Ton, TVT, Xu, M, Mashal, A, et al. Genetic profiling of rat gliomas and cardiac schwannomas from life-time radiofrequency radiation exposure study using a targeted next-generation sequencing gene panel. *PLoS One*. (2024) 19:e0296699. doi: 10.1371/journal.pone.0296699 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)

43. IARC. *Advisory group recommendations on priorities for the IARC monographs during 2025–2029*. (2024). Geneva: Open access report. (Accessed November 26, 2024).

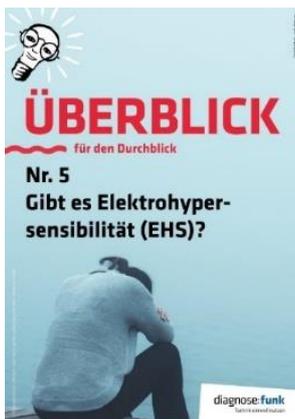
44. FCC. Resolution of notice of inquiry, second report and order, notice of proposed rulemaking, and memorandum opinion and order. (2019). Available online at: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-19-126A1.pdf>

45. Cavagnaro, M, and Lin, JC. Importance of exposure duration and metrics on correlation between rf energy absorption and temperature increase in a human model. *IEEE Trans Biomed Eng*. (2019) 66:2253–8. doi: 10.1109/TBME.2018.2886475 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)

46. ICRP. Recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP*. (2007) 37:2–4.
47. Microwave News. U.S. NTP quits RF promised studies on mechanisms never done, February 2, 2024. (2024a). Available online at: <https://microwavenews.com/news-center/ntp-quits-rf> (Accessed September 16, 2024).
48. NIH-NTP. Cell phone radio frequency radiation. (2024). Available online at: <https://ntp.niehs.nih.gov/research/topics/cellphones> (Accessed September 16, 2024).
49. FDA. Review of published literature between 2008 and 2018 of relevance to radiofrequency radiation and cancer. (2020). Available online at: www.fda.gov (Accessed July 23, 2024).
50. FCC. *D.C. Circuit decision - Environmental Health Trust v FCC. Aug 16, 2021*. Washington, DC: FCC (2021).
51. FCC. *Office of Engineering and Technology, evaluating compliance with FCC specified guidelines for human exposure to RF radiation, OET bulletin 65*. Washington, DC: FCC (1997).
52. Lin, JC. A Paradigm Shift? *IEEE Microw Mag*. (2023c) 24:16–8. doi: 10.1109/MMM.2023.3313788 [Crossref Full Text](#)
53. Microwave News. *Show me the studies! May 7, 2018*. New York: Microwave News (2018).
54. CDC. Radiation protection guidance from NCRP related to public health. (2024). Available online at: https://taggs.hhs.gov/CDC/NIH.v/Detail/RecipDetail?arg_EntityId=zTHGWjdB2ls4WbEgWmtpcQ%3D%3D (Accessed August 4, 2024).
55. NCRP. SC 8-1: Development of NCRP informational webpages to provide authoritative information about the use of wireless technology and current evidence on health effects. (2024). Available online at: <https://ncrponline.org/program-areas/sc-8-1/> (Accessed August 4, 2024).
56. WHO-EMF. The international EMF project. (2024). Available online at: <https://www.who.int/initiatives/theinternational-emf-project> (Accessed September 16, 2024).
57. Microwave News. Half WHO-EMF project funding came from industry. (2007). Available online at: <https://www.microwavenews.com/news-center/repacholi-half-who-emf-project-fundingcameindustry>, July 30, 2007; <https://www.microwavenews.com/news-tags/michael-repacholi>, November 1, 2022 (Accessed September 16, 2024).
58. Lagorio, S, Blettner, M, Baaken, D, Feychting, M, Karipidis, K, Loney, T, et al. The effect of exposure to radiofrequency fields on cancer risk in the general and working population: a protocol for a systematic review of human observational studies. *Environ Int*. (2021) 157:106828. doi: 10.1016/j.envint.2021.106828 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)
59. Mevissen, M, Ward, JM, Kopp-Schneider, A, MacNamee, JP, Wood, AW, Rivero, TM, et al. Effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF EMF) on cancer in laboratory animal studies. *Environ Int*. (2022) 161:107106. doi: 10.1016/j.envint.2022.107106 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)
60. Pophof, B, Burns, J, Danker-Hopfe, H, Dorn, H, Egblomassé-Roidl, C, Eggert, T, et al. The effect of exposure to radiofrequency electromagnetic fields on cognitive performance in human experimental studies: a protocol for a systematic review. *Environ Int*. (2021) 157:106783. doi: 10.1016/j.envint.2021.106783 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)
61. Cordelli, E, Ardoino, L, Benassi, B, Consales, C, Eleuteri, P, Marino, C, et al. Effects of radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure on pregnancy and birth outcomes: a systematic review of experimental studies on non-human mammals. *Environ Int*. (2023) 180:108178. doi: 10.1016/j.envint.2023.108178 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)
62. Nordhagen, EK, and Flydal, E. WHO to build neglect of RF-EMF exposure hazards on flawed EHC reviews? Case study demonstrates how “no hazards” conclusion is drawn from data showing hazards. *Rev Environ Health*. (2024) 2024:277–88. doi: 10.1515/reveh20240089 [Crossref Full Text](#)
63. Rössli, M, Dongus, S, Jalilian, H, Eyers, J, Esu, E, Oringanje, CM, et al. The effects of radiofrequency electromagnetic fields exposure on tinnitus, migraine and non-specific symptoms in the general and working population: a systematic review and meta-analysis on human observational studies. *Environ Int*. (2024) 2024:108338
64. Frank, JW, Melnick, RL, and Moskowitz, JM. A critical appraisal of the WHO 2024 systematic review of the effects of RF-EMF exposure on tinnitus, migraine/headache, and nonspecific symptoms. *Rev Environ Health*. (2024) 2024:486–92. doi: 10.1515/reveh2024-0069 [Crossref Full Text](#)
65. Meyer, F, Bitsch, A, Forman, HJ, Fragoulis, A, Ghezzi, P, Henschenmacher, B, et al. The effects of radiofre-

- quency electromagnetic field exposure on biomarkers of oxidative stress in vivo and in vitro: a systematic review of experimental studies. *Environ Int.* (2024) 194:108940. doi: 10.1016/j.envint.2024.108940 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)
66. Microwave News. Another WHO RF systematic review challenged. (2024b). Available online at: <https://microwavenews.com/short-takes-archive/another-who-rf-systematic-reviewchallenged> (Accessed September 16, 2024).
67. Mevissen, M, Ducray, A, Ward, JM, Kopp-Schneider, A, McNamee, JP, Wood, AW, et al. Effects of radiofrequency electromagnetic field exposure on cancer in laboratory animal studies, a systematic review. *Environ Int.* (2025) 199:109482. doi: 10.1016/j.envint.2025.109482 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)
68. Microwave News. ICNIRP revamp: Closer ties to WHO EMF project. (2023). Available online at: <http://www.microwavenews.com/news-center/icnirp-revamp-closer-ties-who-emf-project>, December 11, 2023 <https://microwavenews.com/news-center/can-who-kick-icnirp-habit> (Accessed September 16, 2024).
69. Cantu, JC, Butterworth, JW, Peralta, XG, Payne, JA, and Echchgadda, I. Analysis of global DNA methylation changes in human keratinocytes immediately following exposure to a 900 MHz radiofrequency field. *Bioelectromagnetics.* (2023) 44:77–89. doi: 10.1002/bem.22439 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)
70. Dagro, AM, Wilkerson, JW, Thomas, TP, Kalinosky, BT, and Payne, JA. Computational modeling investigation of pulsed high peak power microwaves and the potential for traumatic brain injury. *Sci Adv.* (2021) 7:1–10.
71. Lin, JC, and Wang, Z. Acoustic pressure waves induced in human heads by RF pulses from high-field MRI scanners. *Health Phys.* (2010) 98:603–13. doi: 10.1097/HP.0b013e3181c829b5 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)
72. Watanabe, Y, Tanaka, T, Taki, M, and Watanabe, SL. FDTD analysis of microwave hearing effect. *IEEE Trans Microw Theory Tech.* (2000) 48:2126–32. doi: 10.1109/22.884204 [Crossref Full Text](#)
73. Yitzhak, NM, Ruppin, R, and Hareuveny, R. Numerical simulation of pressure waves in the cochlea induced by a microwave pulse. *Bioelectromagnetics.* (2014) 35:491–6. doi: 10.1002/bem.21869 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)
74. Lin, JC. RadioBio and other recent U.S. bioelectromagnetics research programs. *IEEE Microwave Mag.* (2019) 20:14–6. doi: 10.1109/MMM.2018.2876268 [Crossref Full Text](#)
75. Radiobio. What role does electromagnetic signaling have in biological systems? (2017). Available online at: <https://www.darpa.mil/news-events/2017-02-07>
76. Rao, M, Sarabandi, K, Soukar, J, Kotov, NA, and VanEpps, JS. Experimental evidence of radio frequency radiation from *Staphylococcus aureus* biofilms. *IEEE J Electromagn RF Microw Med Biol.* (2022) 6:420–8. doi: 10.1109/JERM.2022.3168618 [Crossref Full Text](#)
77. Sarabandi, K, and Rao, M. A regenerative RF sensing system for improved detection of microwave emission from *Staphylococcus aureus* biofilms. *IEEE J Electromagn RF Microw Med Biol.* (2022) 6:509–15. doi: 10.1109/JERM.2022.3197686 [Crossref Full Text](#)
78. Caubet, R, Pedarros-Caubet, F, Chu, M, Freye, E, de Belém Rodrigues, M, Moreau, JM, et al. A radio frequency electric current enhances antibiotic efficacy against bacterial biofilms. *Antimicrob Agents Chemother.* (2004) 48:4662–4. doi: 10.1128/AAC.48.12.4662-4664 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)
79. Obermeier, A, Matl, FD, Friess, W, and Stemberger, A. Growth inhibition of *Staphylococcus aureus* induced by low-frequency electric and electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics.* (2009) 30:270–9. doi: 10.1002/bem.20479 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)
80. Schwartz, K, Syed, AK, Stephenson, RE, Rickard, AH, and Boles, BR. Functional amyloids composed of phenol soluble modulins stabilize *Staphylococcus aureus* biofilms. *PLoS Pathog.* (2012) 8:e1002744. doi: 10.1371/journal.ppat.1002744 [PubMed Abstract](#) | [Crossref Full Text](#)
81. Karipidis, K, Baaken, D, Loney, T, Blettner, M, Brzozek, C, Elwood, M, et al. "The effect of exposure to radiofrequency fields on cancer risk in the general and working population: A systematic review of human observational studies – Part I: Most researched outcomes", *Environment International.* (2024) 191:108983.
82. Lin, JC. "Science, Politics, and Groupthink." *IEEE Microwave Magazine.* (2021) 22:24–26.
83. EMF Academy. Lowest radiation cell phones of 2025 (Low SAR ratings). (2024).

**Über die Studienlage informiert, ständig aktualisiert –
unsere Publikationsreihe ÜBERBLICK für den Durchblick**



Kostenloser Download als PDF-Datei

www.diagnose-funk.org/2090

Unterstützen Sie bitte die Arbeit von diagnose:funk mit einer Spende:

Diagnose-Funk e.V.
IBAN: DE39 4306 0967 7027 7638 00
BIC: GENODEM1GLS

Oder werden Sie Fördermitglied:

www.diagnose-funk.org/foerdern