

# Drahtlose Technologien, nicht-ionisierende elektro- magnetische Felder und Kinder: **Gesundheitsrisiken erkennen und reduzieren**

Devra Davis, PhD, MPH, Linda Birnbaum, PhD, Paul Ben-Ishai,  
PhD, Hugh Taylor, MD, Meg Sears, MEng, PhD, Tom Butler, PhD,  
MSc, and Theodora Scarato, MSW



brennpunkt

AUSGABE AUGUST 2023

**Impressum**

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

**Bestellung Printausgabe:**  
[shop.diagnose-funk.org/brennpunkt](http://shop.diagnose-funk.org/brennpunkt)  
Bestellnr. 251  
[bestellung@diagnose-funk.de](mailto:bestellung@diagnose-funk.de)

**Herausgeber und V.i.S.d.P**

Diagnose-Funk e.V.  
Postfach 15 04 48  
D-70076 Stuttgart  
[www.diagnose-funk.org](http://www.diagnose-funk.org)

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

**Unterstützen Sie diagnose:funk**

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

**Spendenkonto Diagnose-Funk e.V.**

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

# Inhaltsverzeichnis

Einführung. Die Exposition von Kindern gegenüber drahtloser Strahlung nimmt rapide zu .....	2
<b>ELEKTROMAGNETISCHE STRAHLUNG UND BIOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN</b> .....	4
Elektromagnetismus .....	4
Das elektromagnetische Spektrum .....	5
Signale.....	6
Die zunehmende Belastung durch elektromagnetische Strahlung .....	6
Wie wird die EMF-Exposition quantifiziert? .....	7
Physikalische Mechanismen der Interaktion von HF-Strahlung und Gewebe .....	10
Biologische Pfade für nicht-ionisierende Wirkungen .....	10
Die besondere Anfälligkeit von Kindern gegenüber drahtloser Strahlung .....	11
<b>FORTPFLANZUNG UND SCHWANGERSCHAFT</b> .....	12
Fortpflanzungsfähigkeit .....	12
Die Schwangerschaft ist ein kritisches Fenster der Anfälligkeit .....	14
Toxikologischer Nachweis der schädlichen Auswirkungen von HF-Strahlung .....	14
Pränatale Exposition und das zentrale Nervensystem .....	14
Pränatale Expositionen beim Menschen verändern Verhalten und Kognition der Nachkommen .....	15
Verhalten und Kognition bei Kindern und Jugendlichen, die durch Mobiltelefone beeinträchtigt werden .....	15
Verhalten bei Tieren .....	16
<b>KARZINOGENITÄT</b> .....	17
Experimenteller Nachweis der Karzinogenität.....	17
Krebspidemiologie - Fall-Kontroll-Studien.....	17
Krebspidemiologie – Kohortenstudien .....	18
Ungeklärter Anstieg von Krebserkrankungen bei Kindern und jungen Erwachsenen steht im Einklang mit der zunehmenden Exposition gegenüber Mobilfunkstrahlung .....	18
<b>EMF ALS ENDOKRINE DISRUPTOREN</b> .....	19
Tierstudien zu additiven oder synergistischen Wirkungen von HF-Strahlung mit anderen Wirkstoffen.....	19
<b>AUSWIRKUNGEN VON BILDSCHIRMZEIT</b> .....	20
Technoferenz trägt zu Sprach- und Bindungsverzögerungen bei .....	20
<b>LEITFADEN FÜR DIE KLINISCHE PRAXIS</b> .....	21
Elektromagnetische Empfindlichkeit - ein unterdiagnostiziertes Problem in der Kinderheilkunde .....	22
Synergistische und kombinierte toxische Expositionen bei Kindern .....	22
Eine theoretische Rolle für HF-Strahlung in der Erforschung der Ursachen von Autismus-Spektrum-Störungen ....	23
<b>UNZUREICHENDE GESETZLICHE GRENZWERTE</b> .....	23
Grenzwerte für Handys und drahtlose Geräte.....	23
Grenzwerte für die Belastung durch drahtlose Netzwerke .....	24
Warum die SAR-Norm zum Schutz von Kindern unzureichend ist .....	24
<b>REGULIERUNGSLÜCKEN ZUM NACHTEIL VON KINDERN</b> .....	25
Prävention: Medizinische Organisation, öffentliche Gesundheit, Regierungspolitik und Maßnahmen zur Verringerung des Risikos für Kinder .....	25
Medizinische Organisationen und Gesundheitsbehörden .....	26
Wie Familien die EMF-Exposition reduzieren können.....	26
Regulierungslücken in den USA .....	27
Internationale Marketing-, Compliance- und Transparenzmaßnahmen .....	29
HF-Tests für Mobiltelefone und drahtlose Geräte vor der Markteinführung.....	29
Schulen und Kinderbetreuungseinrichtungen.....	29
Einstellungen im Gesundheitswesen .....	30
<b>SCHLUSSFOLGERUNG: Nächste Schritte für Mediziner, um junge Menschen besser vor den Auswirkungen von HF-Strahlung zu schützen</b> .....	31
Referenzen .....	32

# Drahtlose Technologien, nicht-ionisierende elektromagnetische Felder und Kinder: Gesundheitsrisiken erkennen und reduzieren

Devra Davis, PhD, MPH,<sup>a,b,\*</sup> Linda Birnbaum, PhD,<sup>c,#</sup> Paul Ben-Ishai, PhD,<sup>d</sup>  
Hugh Taylor, MD,<sup>e,h</sup> Meg Sears, MEng, PhD,<sup>f</sup>  
Tom Butler, PhD, MSc,<sup>g</sup> and Theodora Scarato, MSW<sup>b</sup>

Kinder leben heute ab ihrer Zeugung in einem Meer drahtloser Strahlung, das es bei der Geburt ihrer Eltern noch nicht gab. Das digitale Zeitalter erweitert die globale Kommunikation und die Möglichkeiten, auf Notsituationen zu reagieren. Während diese zunehmend allgegenwärtige Technologie weiterhin die Art des Handels, der Medizin, des Verkehrs und des modernen Lebens insgesamt verändert, wurden ihre vielfältigen und sich verändernden Formen nicht auf ihre biologischen oder ökologischen Auswirkungen untersucht. Standards zur Bewertung der Strahlung zahlreicher kabelloser Geräte wurden erstmals 1996 festgelegt, um eine Erwärmung von Gewebe zu vermeiden, und sind seitdem in den USA und vielen anderen Ländern unverändert geblieben. Eine breite Palette von Beweisen weist darauf hin, dass es nicht-thermische Auswirkungen von kabelloser Strahlung auf Fortpflanzung, Entwicklung und chronische Krankheiten gibt. Viele weit verbreitete Geräte wie Mobiltelefone und Tablets fungieren als bidirektionale Mikrowellenfunkgeräte, die verschiedene Frequenzen informationstragender Mikrowellenstrahlung auf mehreren gleichzeitig betriebenen Antennen senden und empfangen.

Expertengruppen, die Regierungen in dieser Angelegenheit beraten, sind sich nicht einig über die besten Vorgehensweisen. Die American Academy of Pediatrics (AAP) empfiehlt eine begrenzte Bildschirmzeit für Kinder unter zwei Jahren, aber mehr als die Hälfte aller Kleinkinder nutzen regelmäßig Bildschirme, oft ohne elterliche Betreuung. Kleine Kinder von Eltern, die häufig Geräte als eine Form der Kinderbetreuung nutzen, haben Verzögerungen beim Spracherwerb, können Bindungsstörungen erleben, während ältere Kinder von Gefühlen der Enttäuschung aufgrund von „Technoferenz“ berichten – wenn Eltern durch Technologie abgelenkt sind. Kinder, die früh im Leben mit der Verwendung von Geräten beginnen, können sozial, psychisch und körperlich von der Technologie abhängig werden und Entzugssymptome erleben, wenn man sie ihnen wegnimmt. Wir geben einen Überblick über relevante experimentelle, epidemiologische und klinische Beweise zu biologischen und anderen Auswirkungen der derzeit verwendeten kabellosen Technologie, einschließlich der Empfehlung, Schlüsselfragen in pädiatrischen Gesundheitsuntersuchungen vom Säuglingsalter bis zum jungen Erwachsenenalter einzubeziehen. Wir kommen zu dem Schluss, dass im Einklang mit den Ratschlägen in der pädiatrischen Radiologie ein Ansatz sinnvoll und umsichtig erscheint, der empfiehlt, dass die Mikrowellenstrahlungsbelastung so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar (ALARA) sein sollte. Auch sollte ein unabhängig finanziertes Schulungs-, Forschungs- und Überwachungsprogramm durchgeführt werden, das sich mit langfristigen physischen und psychischen Auswirkungen eines sich schnell ändernden technologischen Milieus befasst, einschließlich der Möglichkeiten zur Minderung der Auswirkungen durch Modifikationen von Hardware und Software. Das aktuelle Wissen über Elektrosensibilität zeigt, wie wichtig es ist, die Exposition ge-

genüber drahtlosen Geräten zu reduzieren, insbesondere in Schulen und Einrichtungen des Gesundheitswesens.

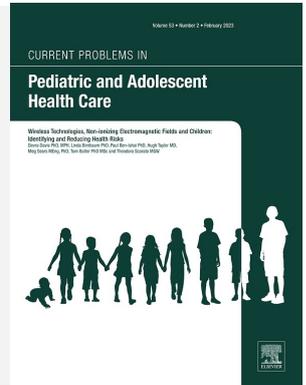
**Abkürzungen:** EMF: Elektromagnetisches Feld; EMR: elektromagnetische Strahlung; FCC: Federal Communications Commission (USA); ICNIRP: Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung; IEEE: Institut für Elektro- und Elektronikingenieure; MF: Magnetfeld; GSM: Global System for Mobile Communications; HF-Strahlung: Hochfrequenzstrahlung; SAR: Spezifische Absorptionsrate (ein Maß für die Rate, mit der Energie in bestimmten Geweben absorbiert wird, wenn sie HF-Strahlung ausgesetzt sind); SAM: Specific Anthropomorphic Mannequin (ein physisches Modell zur Schätzung der SAR, basierend auf einem 100 kg schweren Mann mit einem 5,5 kg schweren Kopf); HPG: Hypothalamus-Hypophysen-Gonaden-Achse; HSP: Hitzeschockproteine; ORSAA: Oceania Radio Frequency Scientific Advisory Association; DECT: Digital Enhanced Cordless Telecommunications; ICBE-EMF: Internationale Kommission für die biologischen Wirkungen elektromagnetischer Felder; ELF-EMF: extrem niederfrequente elektromagnetische Felder (0 - 3 kHz); CDMA: Code Division Multiple Access (Codemultiplexverfahren, das die gleichzeitige Übertragung verschiedener Datenströme auf einem gemeinsamen Frequenzbereich ermöglicht); UMTS: universelles mobiles Telekommunikationssystem; LTE: Long Term Evolution; ROS: reaktive Sauerstoffspezies („Sauerstoffradikale“)

\*E-Mail des korrespondierenden Autors: ddavis@ehtrust.org  
Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care 2023;53:101374  
1538-5442/\$

©2023 Herausgegeben von Elsevier Inc.,  
<https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2023.101374>

- a) Medicine, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Turkey
- b) Environmental Health Trust, Teton Village, WY, USA
- c) National Institute of Environmental Health Sciences and National Toxicology Program, Scholar in Residence, Nicholas School of the Environment, Duke University, USA
- d) Department of Physics, Ariel University, Israel
- e) Department of Obstetrics, Gynecology and Reproductive Sciences, Yale University School of Medicine, New Haven, CT USA
- f) Ottawa Hospital Research Institute, Prevent Cancer Now, Ottawa, Canada
- g) University College, Cork, Ireland
- h) Department of Molecular, Cellular and Developmental Biology, Yale University, New Haven, CT, USA

# Diese Forschung wurde von der pensionierten Direktorin des National Institute of Environmental Health Sciences, Linda S. Birnbaum PhD, geleitet, auf ihre eigene persönlichen Verantwortung. Die in diesem Artikel geäußerten Meinungen sind die der Autoren und spiegeln nicht die Ansichten der National Institutes of Health, des Department of Health and Human Services oder der Regierung der Vereinigten Staaten wider.



## Einführung. Die Exposition von Kindern gegenüber drahtloser Strahlung nimmt rapide zu

Wir leben im Zeitalter der technologischen Wunder, in dem die Fähigkeit, auf Notfälle zu reagieren, einen normalen Handel zu betreiben und sogar Krieg zu führen durch kabellose Kommunikation radikal verändert wurde. Gleichzeitig befinden wir uns auch in einem Zeitalter technologischer Imperative; das heißt, die Tatsache, dass etwas technisch machbar ist, wurde als Argument missverstanden, dass dies *getan werden sollte*, d.h. zugunsten der Implementierung dieser Technologie. Eltern verstehen das – nur weil man ohne Helm und andere Schutzausrüstung Skateboard fahren kann, heißt das noch lange nicht, dass das eine *gute* Idee ist. Von kabellosen Babyphones über das iPad-Töpfchen für Kleinkinder, mit denen sie lernen sollen, auf die Toilette zu gehen, WLAN-Barbie, Tablets und Mobiltelefone – die heutigen Säuglinge, Kleinkinder, Kinder und Jugendlichen sind von drahtlosen Technologien umgeben. Keine wurde auf ihre Auswirkungen auf Kinder getestet.

**K**inder sind keine kleinen Erwachsenen und sind unverhältnismäßig stärker von allen Umwelteinflüssen betroffen, einschließlich der Strahlung von Mobiltelefonen. American Academy of Pediatrics an die Federal Communications Commission (2013)<sup>1</sup>

Besonders wenn sie in frühen Lebensphasen eingesetzt werden, können diese Geräte die soziale Entwicklung, das Lernen und die Sozialisation beeinträchtigen. Außerdem können sie lebenslange und potenziell irreversible schädliche biologische Auswirkungen haben. "Kinder sind keine kleinen Erwachsenen und sind unverhältnismäßig stärker von allen Umwelteinflüssen betroffen, einschließlich der Handystrahlung," schreibt die Amerikanische Akademie of Pediatrics an die Federal Communications Commission (2013)<sup>1</sup>.

Mobiltelefone, Tablets und Laptops arbeiten in der Regel als Zwei-Wege-Mikrowellengeräte, die Hochfrequenzstrahlung von internen und externen Antennen senden und empfangen. Die seit 1996 unveränderten HF-Expositionsstandards für die Nutzung und den Betrieb von Mobiltelefonen und anderen drahtlosen Geräten beruhen auf einem groben physikalischen Modell, bei dem eine hohle Plastikkugel für den Kopf verwendet wird, in die eine homogene Flüssigkeit gegossen wird; dieses einheitliche Medium kann die unterschiedlichen Dichten und elektromagnetischen Eigenschaften der sich entwickelnden Physiologie, Morphologie und der verschiedenen Gewebe in unterschiedlichen Altersstufen sowie die größere Anfälligkeit von Säuglingen, Kleinkindern und Kindern nicht widerspiegeln. Gesundheitsbasierte Normen wurden nie entwickelt, um den sehr unterschiedlichen Technologien, Verwendungszwecken und Nutzern, die heute diese Geräte einsetzen, Rechnung zu tragen.

Obwohl mobile Kommunikationssysteme und drahtlose Technologien zahlreiche direkte Vorteile für die Gesellschaft mit sich bringen, können sie auch Risiken für die Gesundheit und Sicherheit von Milliarden von Menschen beinhalten, da sie über die gesamte Lebensspanne hinweg unnötigen Mengen an HF-Strahlung ausgesetzt sind. Wie in diesem Bericht dargelegt, stimmen wir angesichts der umfangreichen experimentellen, epidemiologischen und klinischen Beweise, dass die derzeitige

Höhe der drahtlosen Strahlung insbesondere für junge Menschen schädlich sein kann, mit den Experten überein, die dazu raten, dass die Politik durch das Konzept ALARA - so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar - bestimmt werden sollte. Dabei muss die Weiterentwicklung der Forschung beachtet werden. ALARA, das Leitprinzip des Strahlenschutzes, bedeutet eine überflüssige Strahlenbelastung zu vermeiden, auch wenn die Dosis gering ist.<sup>2</sup>

**D**as Leitprinzip des Strahlenschutzes ist "ALARA". ALARA steht für "as low as reasonably achievable". ALARA bedeutet, eine überflüssige Strahlenbelastung zu vermeiden, auch wenn die Dosis gering ist.<sup>2</sup>

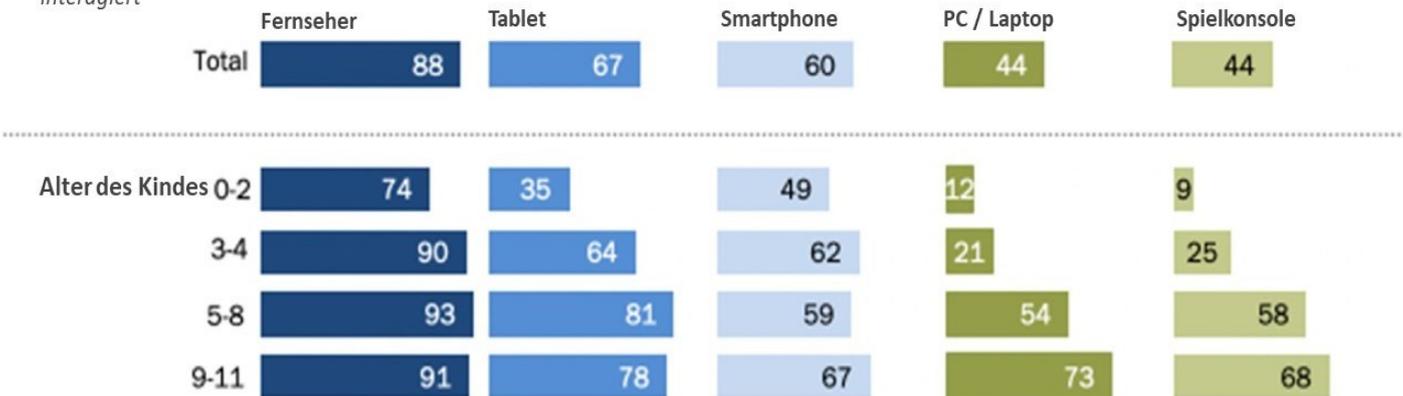
Seit mehr als einem Jahrzehnt empfehlen die American Academy of Pediatrics<sup>3</sup> und die Amerikanische Akademie für Kinder- und Jugendpsychiatrie<sup>4</sup>, dass Kinder im Alter von zwei Jahren und darunter keine Zeit vor dem Bildschirm verbringen, aber die Nutzung von solchen Geräten bei Säuglingen und Kleinkindern steigt dennoch extrem an. Dieser Ratschlag wurde nun dahingehend geändert, dass Videoanrufe unter Aufsicht der Eltern im Alter von 18 bis 24 Monate erlaubt sind. Die Pew Research Foundation befragte Eltern in den Jahren 2020 und 2021 und fand heraus, dass 8 von 10 Eltern eines Kindes im Alter von 11 Jahren oder jünger (81 %) 2021 angaben, dass ihr Kind schon einmal einen Tablet-Computer benutzt hat, gegenüber 68 % im Jahr 2020<sup>5</sup>; 71 % gaben an, dass ihr Kind im Jahr 2021 ein Smartphone benutzt hat (siehe Abb. 1). Die aktuellen Zahlen sind sicherlich höher, da die Pandemie zu einer stärkeren Abhängigkeit von digitalen Geräten geführt hat. Berichte über ernsthafte Verhaltensprobleme einschließlich Problemen mit Selbstkontrolle, Sozialisation, Spracherwerb und dergleichen wurden mit der Gerätesucht in Verbindung gebracht, die Internet-Spielsucht ist in allen Altersgruppen auf dem Vormarsch.<sup>6</sup>

Jahrzehntelange Forschungen über Hochfrequenzstrahlung (einschließlich Mikrowellen) zeigen, dass die tägliche Exposition gegenüber drahtlosen Geräten die körperliche, emotionale und psychische Gesundheit und das Wohlbefinden von Erwachsenen und Kindern beeinträchtigen kann.<sup>7</sup> Dies vertritt eine wachsende Zahl unabhängiger Forscher, während Regulierungsbehörden wie die Federal Communications Commission (FCC) in den USA und die Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) derzeit "niedrige" Strahlenbelastungen als unbedenklich einstufen. Diese Werte gefährden jedoch tatsächlich das endokrine System, die Fortpflanzung und das Immunsystem von Kindern. Die derzeitigen Grenzwerte beruhen auf der Annahme, dass die Überhitzung durch Hochfrequenzstrahlung die einzige festgestellte gesundheitliche Auswirkung ist, die es zu vermeiden gilt. Zahlreiche Studien zeigen jedoch, dass nicht-thermische Hochfrequenzstrahlung schwerwiegende negative Auswirkungen haben kann, wie z. B. die Zunahme reaktiver Sauerstoffspezies (ROS), DNA-Schäden, Kardiomyopathie, Karzinogenität, Spermaschäden, Gedächtnisschäden und neurologische Auswirkungen.<sup>8</sup>

Wie bei vielen anderen chemischen und physikalischen Gefahren gibt es Hinweise darauf, dass die schädlichen Auswirkungen größer sind, wenn die Exposition während kritischer Wachstums- und Entwicklungsphasen erfolgt, einschließlich der Schwangerschaft.<sup>9</sup> Seit den 1990er Jahren haben sich die Mitgliedstaaten der Europäischen Union und die FCC an die ICNIRP<sup>10</sup> und das IEEE, Institute of Electrical and Electronics

## Der Umgang von Kindern mit bestimmten digitalen Geräten variiert sehr je nach Alter

% der US-Eltern von Kindern unter 11 Jahren, die angeben, dass ihr Kind, soweit sie wissen, überhaupt digitale Geräte nutzt oder mit ihnen interagiert



Hinweis: Wenn ein Elternteil mehrere Kinder hat, wurde er gebeten, sich bei der Beantwortung dieser Fragen auf ein Kind zu konzentrieren. Diejenigen, die keine Antwort gegeben haben, sind nicht aufgeführt.

Quelle: Umfrage unter Erwachsenen in den USA, durchgeführt vom 2. bis 15. März 2020

Abb. 1: Beschäftigung von Kindern mit digitalen Geräten. Erhebung 2020 des PEW Research Center. (Zur Interpretation der Farbgebung in dieser Abbildung wird der Leser auf die Webversion dieses Artikels verwiesen: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1538544223000238>).

Engineers<sup>11</sup> gewandt, um Risikobewertungen und Leitlinien für die berufliche und öffentliche Exposition gegenüber Hochfrequenzfeldern von allen Strahlungsquellen zu erhalten. Diese Gruppen gehen davon aus, dass nur thermische Effekte (übermäßige Erwärmung) zu vermeiden sind. Im Gegensatz dazu lehnen unter anderem die Internationale Kommission für die biologischen Auswirkungen elektromagnetischer Felder (ICBE-EMF)<sup>12</sup> und die Oceania Radiofrequency Scientific Assessment Association (ORSAA),<sup>13,14</sup> die Annahmen ab, auf die sich die ICNIRP stützt, und begründen detailliert ihre Positionen.<sup>15</sup> Darüber hinaus vertritt der ehemalige Chefredakteur der Zeitschrift Bioelectromagnetics<sup>16</sup>, dass die Normen zur Bewertung von schnurlosen Telefonen und anderen Geräten nicht mit der technologischen Entwicklung Schritt gehalten haben, und stellt fest, dass nicht-thermische Wirkungen auftreten und daher die derzeitigen FCC-Normen die öffentliche Gesundheit nicht schützen.

Den Verordnungen auf beiden Seiten des Atlantiks ist gemeinsam, dass sie auf Risikobewertungen beruhen, die in den 1980er und frühen 1990er Jahren von Wissenschaftlern der Industrie und den ihr angeschlossenen Organisationen der IEEE durchgeführt wurden. Trotz zahlreicher Beweise, die auf schwerwiegende biologische und ökologische Auswirkungen nicht-thermischer Hochfrequenzstrahlung hinweisen, sind die Risikobewertungen der FCC und der ICNIRP für nicht-ionisierende Strahlung von Mobiltelefonen und anderen Geräten seit Jahrzehnten unverändert geblieben. Als die ersten Handys auf den Markt kamen, war die Nutzung von Mobiltelefonen durch Kinder noch völlig unbekannt. Heute sind Kinder drahtloser Strahlung von Mobiltelefonen sowie zahlreichen Quellen in ihrem Zuhause, in Kinderbetreuungseinrichtungen und Schulen ausgesetzt, wie in Abb. 2 dargestellt.

Für Säuglinge und Kleinkinder wurden mehrere tausend Apps für Mobiltelefone, Uhren und Tablets entwickelt, ohne dass deren langfristige physische oder psychologische Auswirkungen untersucht wurden. (Abb. 2)

In diesem Artikel werden die wichtigsten wissenschaftlichen Informationen darüber zusammengestellt, warum und wie die Exposition junger Menschen gegenüber drahtloser Strahlung reduziert werden sollte, einschließlich der Begrenzung der pränatalen und postnatalen Exposition. Die neuesten wissenschaftlichen und klinischen Studien über die biologischen Auswirkungen drahtloser Strahlung und Expositionsmodelle werden kurz im Hinblick auf ungeklärte Trends bei Krebs, Autismus-Spektrum-Störungen, Lernschwierigkeiten, Aufmerksamkeitsdefiziten, Verhaltens- und psychiatrischen Störungen und anderen zunehmenden pädiatrischen Störungen betrachtet. Abschließend werden die Entwicklungen in der Gesundheitsbranche und in der nationalen Politik der USA vorgestellt, die darauf abzielen, Kinder vor unangemessener und schädlicher Strahlenbelastung zu schützen, und es werden spezifische Empfehlungen und Praktiken für eine sicherere Nutzung von Technologien vorgestellt.

**M**ehrere tausend Apps wurden für die Nutzung durch Säuglinge und Kleinkinder auf Handys, Uhren und Tablets entwickelt, ohne dass ihre langfristigen physischen oder psychischen Auswirkungen untersucht wurden.



Abb. 2: Quellen für drahtlose Hochfrequenzstrahlung im Haushalt.

## Elektromagnetische Strahlung und biologische Auswirkungen

Die Funkkommunikation steht im Mittelpunkt der Revolution der Mobiltelefone und der drahtlosen Strahlung über elektromagnetische "Funkwellen" oder HF-Strahlung.

## Elektromagnetismus

Die Theorie des Elektromagnetismus entstand 1865, als James Clerk Maxwell die Arbeiten von Ampère über Elektrizität und die Arbeiten von Faraday und anderen über Magnetismus zu einer einheitlichen Theorie vereinigte.<sup>17,18</sup> Einfach ausgedrückt, beeinflusst eine elektrische Ladung oder die Bewegung elektrischer Ladung (in elektrischen Strömen durch Drähte und Geräte) andere Ladungen oder elektrische Ströme in einer gewissen Entfernung. Dieser Einfluss, der als "Feld" bezeichnet wird, resultiert aus den Anziehungs- und Abstoßungskräften zwischen elektrischen Ladungen. Positive und negative Ladungen ziehen sich an, während zwei Ladungen mit demselben Vorzeichen auseinandergetrieben werden. Von besonderer Bedeutung ist, wie eine schwingende Ladung ein Feld erzeugt, das ebenfalls schwingt, und diese Störung (genannt "Strahlung") breitet sich als Welle nach außen aus. Stellen Sie sich ein Kind vor, das ein Springseil an einem Ende kurz auf und ab bewegt - die Auf- und Abbewegung breitet sich auf dem Seil in der gleichen Weise aus wie das elektrische Feld, das sich in Form einer Welle ausbreitet. Diese Theorie wurde 1887 von Heinrich Hertz experimentell bestätigt.<sup>19,20</sup> Die Dualität einer Welle ist in Abb. 3 dargestellt.

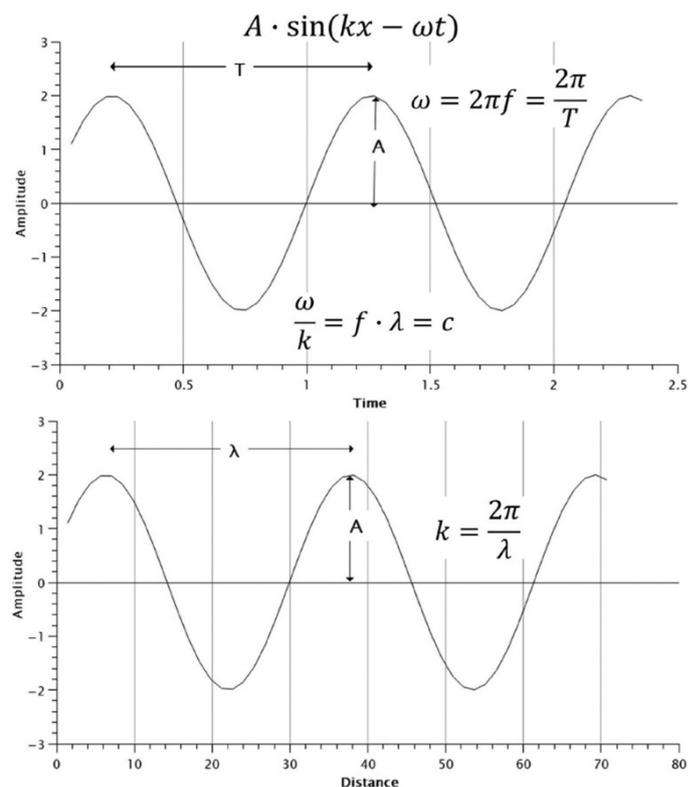


Abb. 3: Mathematische Beschreibung einer kontinuierlichen Welle als Sinusfunktion. A ist die Amplitude der Schwingung, f ist die Frequenz,  $\lambda$  ist die Wellenlänge (Ergänzung der Übersetzer), T ist die Zeitdauer für eine vollständige Schwingung,  $\omega$  ist die Kreisfrequenz ( $\omega = 2\pi f$ ) und k ist die Wellenzahl.

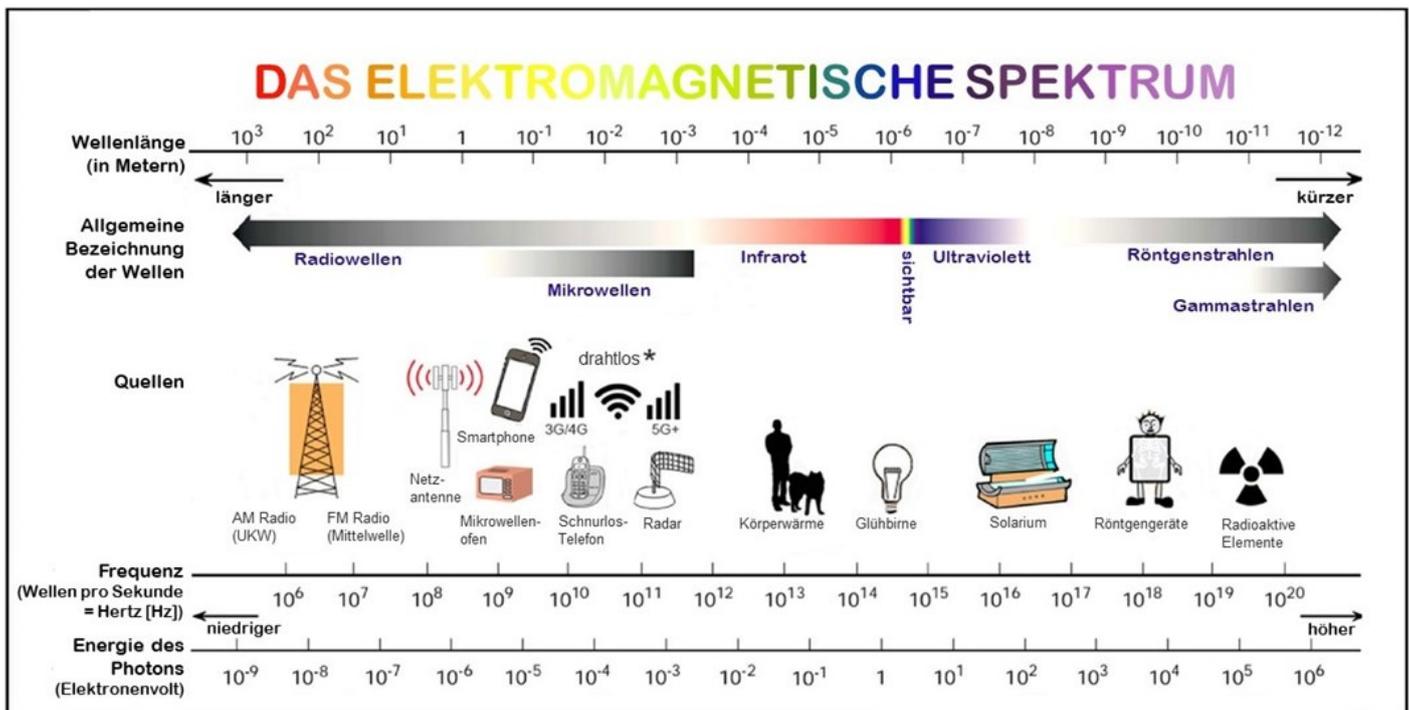


Abb. 4: Elektromagnetisches Spektrum

\* Handys und Schnurlostelefone, Computer, Laptops, Tablets und Peripheriegeräte, Antennen, WLAN, Zugangspunkte und Drohnen, Monitore (z. B. für Sicherheit, Medizin, Babys), Spielzeug und Unterhaltungssysteme, "intelligente" Stromzähler und Geräte, Kontrollsysteme (z. B. Raumklima oder Beleuchtung), "Wearables", Stromübertragungs-/Akkuladestationen und vieles mehr. (Zur Interpretation der Farbgebung in dieser Abbildung wird auf die Webversion dieses Artikels verwiesen: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1538544223000238>).

Die Schwingung kann als Sinuswelle beschrieben werden, die sowohl von der Zeit als auch vom Ort der Beobachtung abhängt. Das obere Bild der Abbildung zeigt die Schwingung der Welle, wie sie von einem Beobachter gesehen wird, der an einem Ort steht und sie über einen bestimmten Zeitraum hinweg anschaut. Man kann sich vorstellen, dass man in der Nähe des Ozeans steht und auf eine Boje starrt, die sich auf und ab bewegt, wenn die Wellen unter ihr vorbeiziehen. Die untere Tafel sieht genauso aus, zeigt aber, wie die Wellen zu einem bestimmten Zeitpunkt an jeder Stelle aussehen würden. Das ist ungefähr so, als würde man an der gleichen Stelle am Meer stehen und das offene Meer und alle Wellen vor sich sehen. Die charakteristischen Merkmale der Welle sind ihre Amplitude  $A$ , ihre Wellenlänge  $\lambda$  (der Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden Maxima) und ihre Frequenz  $f$  (die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, gemessen in Hertz [Hz] oder reziproken Sekunden [1/s]). Die Beziehung zwischen diesen Parametern, der zyklischen Frequenz  $\omega$  und der Wellenzahl  $k$ , ist in der Abbildung dargestellt. Am wichtigsten ist, dass die Multiplikation der Frequenz mit der Wellenlänge die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  ergibt.

Maxwells Theorie sagte voraus, dass die Lichtgeschwindigkeit (sichtbares Licht ist eine Form der elektromagnetischen Strahlung) konstant bei 186.000 Meilen pro Sekunde ( $\approx 300.000$  km/s – Anmerkung der Übersetzer) liegt, und bestätigte damit eine Messung, die erstmals 1848 von Hippolyte Fizeau auf der Erde vorgenommen wurde (und nicht durch eine astronomische Schätzung, wie sie von Ole Rømer durchgeführt und 1676<sup>21</sup> veröffentlicht wurde).<sup>22</sup>

Die Schwingungsfrequenzen der elektromagnetischen Wellen können von Bruchteilen von Hertz (eine langsame Veränderung der Feldstärke, die mehr als eine Sekunde dauert) bis zu Milliarden Schwingungen pro Sekunde (und höher, Anmerkung der Übersetzer) reichen. Jede Frequenz kann auf unterschiedliche

Weise technologisch genutzt werden und dies wird im Allgemeinen durch das elektromagnetische Spektrum dargestellt.

## Das elektromagnetische Spektrum

Ärzte setzen elektromagnetische Strahlung (EMS) in vielen Formen ein. Hochfrequente, ionisierende elektromagnetische Strahlung wird für die Diagnose (z. B. Röntgenaufnahmen und CAT-Scans) und die Behandlung verwendet (z. B. Gamma-Messer und andere ionisierende Strahlungstherapien bei Krebs; nicht-ionisierende ultraviolette Strahlung dient der Behandlung von Hautkrankheiten wie Psoriasis; Infrarotstrahlung wird in der Physiotherapie und der Intensivpflege eingesetzt), während gepulste elektromagnetische Strahlung zunehmend in der Orthopädie und der physikalischen Therapie eingesetzt wird. Das elektromagnetische Spektrum umfasst sichtbares Licht, das einen Teil des Spektrums ausmacht (Abb. 4), während ein Großteil der übrigen Teile unsichtbar ist.

Im öffentlichen Gesundheitswesen gibt es strenge Gesundheits- und Sicherheitsrichtlinien, die es verbieten, Säuglinge und Kleinkinder über ein begrenztes Maß hinaus den Sonnenstrahlen auszusetzen. Die problematischen Strahlen sind im ultravioletten (UV) Licht der Sonne in den Frequenzbereichen UVA und UVB zu finden. Während UVB traditionell mit direkten DNA-Schäden in Verbindung gebracht wird, die zu Melanomen oder weniger bösartigen Formen von Hautkrebs führen, deuten neuere Erkenntnisse darauf hin, dass UVA bei der Entstehung von Hautkrebs eine größere Rolle spielt als bisher angenommen und auch das Immunsystem und andere Organe beeinträchtigen kann.<sup>23</sup> Andere Teile des Spektrums, insbesondere blaues Licht bei 440 Nanometern, werden aufgrund ihrer biologischen Auswirkungen auf die Haut zur Behandlung von Hyperbilirubinämie<sup>24</sup> eingesetzt, indem sie die Produktion von Dihydroxy-Vitamin D in der Leber von Neugeborenen mit Gelbsucht anregen. Unbehandelt kann das Syndrom zu Bilirubin-

konzentrationen führen, die eine akute Bilirubinenzephalopathie und einen Kernikterus - eine dauerhafte neurologische Störung - verursachen können. Blaues Licht<sup>25</sup> kann auch den Schlaf stören, indem es die Produktion von Melatonin hemmt. Melatonin ist ein natürliches Hormon, das von der Zirbeldrüse ausgeschüttet wird und beim Schlafen in der Dunkelheit entsteht, es ist ein starkes Antioxidans und ein Fänger freier Radikale.

Um auf die Nutzung des Spektrums für die Kommunikation zurückzukommen: Die Fähigkeit, ein wanderndes elektrisches Feld durch den Raum zu übertragen, kann selbst keinen Kommunikationskanal schaffen. Dazu müssen Informationen für die Übertragung verschlüsselt werden. Die Fähigkeit, Informationen über EMF zu kodieren, hat Guglielmo Marconi 1897<sup>26</sup> mit seiner ersten transatlantischen Radioübertragung bewiesen.

## Signale

Der einfachste Weg, Informationen in EMF zu verschlüsseln, besteht darin, die Übertragung ein- und auszuschalten - in anderen Worten: Morsecode. Die Erzeugung eines Funkens brachte den frühen Morsecode-Betreibern den Spitznamen "Sparky" ein. Punkte und Striche (ein "digitaler" Kommunikationsmodus) sind vergleichbar mit den Einsen und Nullen, die die Grundlage der modernen Computertechnik bilden. Mehr Informationen können übertragen werden durch eine sorgfältige Modulation der Amplitude des Signals vergleichbar zur Modulation eines Tons, sei es in der Stimme einer Person oder der Musik. Dieses Verfahren, das als amplitudenmoduliertes (AM) Radio bekannt ist, dominierte die frühen Radio- und Fernsehsendungen. Ein Nachteil dieses Verfahrens besteht jedoch darin, dass immer nur ein Betreiber dieselbe Funkfrequenz nutzen kann. Für eine zweiseitige AM-Kommunikation muss entweder jede Seite warten, bis die andere Seite die Frequenz "freigibt" (daher die Verwendung von "over" durch die Funker), oder es müssen unterschiedliche Trägerfrequenzen für jeden Kanal vorhanden sein.

Die erste Generation von Mobiltelefonen war kaum mehr als ein AM-Funkgerät, das mit 2-Kanal-Kommunikation arbeitete (unter Verwendung eines Protokolls, das als Frequency Division Multiple Access<sup>27</sup> (FDMA) bekannt ist), die an eine mit dem Mobiltelefonnetz verbundene Antenne übertragen wurde, wobei oft relativ hohe EMF-Leistungen von bis zu 5 Watt verwendet wurden. Ihre Übertragungen konnten bekanntlich von Funkamateuren aufgefangen werden, wie der künftige König von England zu seinem Leidwesen feststellen musste, als ein intimes Gespräch zwischen dem damaligen Prinzen Charles und seiner Geliebten Camilla Parker-Bowles von einem Überwachungs-Enthusiasten aufgezeichnet wurde.<sup>28</sup> Kontinuierliche analoge Signale beherrschten bis Anfang der 1990er Jahre die Telefonsignale, die über Kupferkabel Städte und Länder sowie Radio- und Fernsehsendungen miteinander verbanden.

Um die Probleme des begrenzten Austauschs zu überwinden und Interferenzen und die Blamage der Royals zu vermeiden, wurden digitale Formen der Übertragung eingeführt. Die einfachste Form der Digitalisierung besteht darin, ein Trägersignal, das auf einer bestimmten Frequenz übertragen wird, zu modulieren, indem es mit Null oder Eins multipliziert wird. Dies ist in Abb. 5 dargestellt. Das erste Feld in der Abbildung zeigt das

sinusförmige Basissignal, das als "Trägerfrequenz" bezeichnet wird. Das zweite Feld ist eine Digitalisierung, die das Signal ein- oder ausschaltet. Das untere Feld ist das Ergebnis der Multiplikation der beiden Signale, was zu Strahlungsblitzen - Pulsen - führt. Ein auf die Trägerfrequenz abgestimmter Empfänger wandelt die rote Hüllkurve in eine digitale Folge von Einsen und Nullen um, die die übertragene Information repräsentiert.

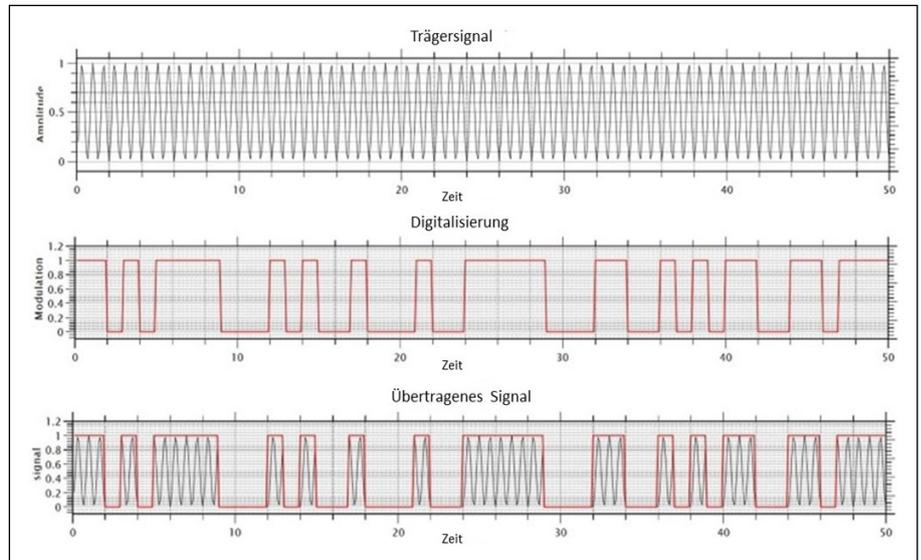


Abb. 5: Eine einfache Veranschaulichung, wie eine kontinuierliche Trägerwelle in ein gepulstes Signal für die digitale Übertragung umgewandelt werden kann. (Zur Interpretation der farblichen Hinweise in dieser Abbildung wird auf die Web-Version dieses Artikels verwiesen).

## Die zunehmende Belastung durch elektromagnetische Strahlung

Die Menge der drahtlos übertragenen Daten und die damit verbundene Strahlung haben seit den Anfängen der Fernseh- und Radioprogramme um viele Größenordnungen zugenommen. Anstatt wöchentlich einen Star in der Ed-Sullivan-Show oder die nächste Folge einer Fernsehserie zu sehen, können wir jetzt sofort die Befriedigung unserer Sehnsucht nach dem Fernsehen durch endlose Angebote auf vielen Plattformen genießen, was erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt hat,<sup>29</sup> einschließlich deutlich erhöhter Energieumsätze und Treibhausgas-Emissionen.

Seit dem Beginn des Mobiltelefonzeitalters (das erste kommerzielle Mobiltelefon kam 1983 auf den Markt<sup>30</sup>) vor 40 Jahren gab es fünf Generationen technischer Fortschritte (siehe Tabelle 1), die in den Mobilfunknetzen der letzten fünften Generation (5G) gipfelten. Jede Generation hat zu einem Anstieg der Strahlenbelastung geführt.<sup>31</sup> Eine oft geäußerte Behauptung ist, dass die neuesten 5G-Netze tatsächlich umweltfreundlicher sind und die Belastung verringern werden. Bei der Erörterung der Auswirkungen auf den Energieverbrauch durch den 5G-Ausbau stellten López-Pérez et al. in einer kürzlich durchgeführten Studie jedoch fest, dass ein 5G-Netz über 140 % mehr Energie verbraucht als ein entsprechendes 4G-Netz.<sup>32</sup> Außerdem gibt es keine gesicherten Beweise dafür, dass 5G-Netze die Exposition verringern werden. Es gibt eine Reihe von Studien, die auf das Gegenteil hindeuten.<sup>33, 34, 35, 36</sup> Einige Branchenexperten berichten, dass die Umweltexposition in der Nähe von 5G-Antennen und die Verdichtung der neuen drahtlosen Infrastruktur die der aktuellen 3G- und 4G-Netze bis zum 46-Fachen übersteigen kann.<sup>33,37</sup>

5G-Netze verfügen über zahlreiche Antennen in einem Gitter, die den Mobilfunkstrahl ausrichten können und etwa alle 100 m stationiert sind.<sup>32</sup> Die Auswirkungen von 5G auf die öffentliche Gesundheit und die Umwelt sind bisher noch nicht untersucht worden. Ein Grund für diesen Anstieg der Exposition mit 5G ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Absorption und Streuung in der Atmosphäre zunimmt, wenn höhere Frequenzen verwendet werden. Da die 5G-Frequenzen (im Frequenzbereich ab 30 GHz – Anmerkung der Übersetzer) im Millimeterwellenbereich arbeiten und die Signale nicht so weit reichen wie bei früheren Systemen, sind sie anfälliger für Störungen durch störende Objekte wie Wände und andere Barrieren. Um die gleiche Signalstärke beizubehalten, sind daher mehr Basisstationen erforderlich, ein Prozess, der als "Verdichtung" bezeichnet wird. Einige Schätzungen gehen davon aus, dass die Anzahl der zusätzlichen 5G-Basisstationen, die für die Abdeckung in einer städtischen Umgebung erforderlich sind, im Vergleich zu einem entsprechenden 4G-Netz um das 100-fache ansteigt.<sup>34</sup> Mehr Basisstationen bedeuten mehr Strahlung.

Ein weiterer Grund dafür, dass es zu einer höheren Strahlenbelastung kommen kann, ist die Tatsache, dass der 5G-Standard auf einem neuen technologischen Fortschritt beruht, den sogenannten MIMO-Antennen (Multiple Input Multiple Output). Die Anzahl der Nutzer, die sich mit einer einzigen Basisstation verbinden können, erhöht sich durch die Aufteilung des Frequenzbandes auf viel mehr Frequenzkanäle (daher der Bedarf an höheren Frequenzen) und durch Begrenzung der Zeit, in der jeder einzelne Kanal das gleiche Frequenzband nutzt. Im Gegensatz zu den Standards 2G bis 4G wird diese Aufteilung der Frequenzbänder bei 5G durch die Verwendung von Antennen mit Strahlenbündelung vervielfacht: Durch die Verwendung vieler kleiner Antennen und die enge zeitliche Abstimmung der einzelnen Übertragungen auf derselben Frequenz ist es möglich, das Signal zu einem eng begrenzten räumlichen Strahl von der Basisstation direkt zum 5G-Mobiltelefon, 5G-Tablet oder 5G-Computer des Nutzers zu formen. Solange zwei Nutzer nicht nebeneinanderstehen, können sie beide dieselbe Signalfrequenz nutzen und stören sich nicht gegenseitig bei der Übertragung. Diese sogenannten "Phased-Array-Antennen" bilden das Herzstück von Antennen mit Mehrfachstrahlenbündelung und unterstützen den Bedarf von MIMO im 5G-Standard.<sup>33</sup>

Die elektromagnetischen Frequenzen, die für die drahtlose und zelluläre Kommunikation verwendet werden, liegen bei den Standards von 1G bis 5G im Megahertz (MHz)- und Gigahertz (GHz)-Frequenzbereich, wie in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Gängige Mobilfunktechnologien und ihre jeweiligen Frequenzbänder im MHz-Bereich (10<sup>6</sup> Hz) und GHz-Bereich (10<sup>9</sup> Hz).<sup>30</sup>

Mobilfunktechnologie	MHz Frequenzen	GHz Frequenzen
GSM (2G)	380 – 900	1.8 – 1.9
CDMA (2G & 3G)	400 – 900	1.8 – 2.5
UMTS (3G)	699 – 900	1.7 – 2.69
LTE (4G)	400 – 900	1.9 – 5.925
5G NR (5G) FR1	600 – 960	1.5 – 6.7
Bluetooth		2.4
WLAN		2.45, 5 und 6
5G NR (5G) FR2	—————	24.25 – 71.0

Die Abkürzungen stehen für Global System for Mobile Communications (GSM), Code Division Multiple Access (CDMA), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), Long Term

Evolution (LTE) und 5th Generation New Radio Frequency Range (5G NR FR). Derzeit wird 5G NR FR (Frequenzbereich) 1 landesweit eingesetzt, wobei in einigen Großstädten begrenzte Anwendungen von 5G NR FR2 eingesetzt werden.

**E**inige Branchenexperten berichten, dass die Umweltexposition in der Nähe von Antenneninstallationen von 5G und die Verdichtung der neuen drahtlosen Infrastruktur die der aktuellen 3G- und 4G-Netzen bis zum 46-Fachen übersteigen kann.

## Wie wird die EMF-Exposition quantifiziert?

Die zur Messung der persönlichen Exposition durch Mobiltelefone verwendete Messgröße ist die SAR (spezifische Absorptionsrate). Sie ist ein Maß für die Absorptionsrate der elektromagnetischen Energie durch den Körper des Benutzers. Sorgfältig definiert ist SAR die pro Sekunde absorbierte Strahlungenergie eines Mobiltelefons oder eines anderen drahtlosen Geräts, gemessen in Watt pro Kilogramm (W/kg), gemittelt über einen Zeitraum von 6 oder 30 Minuten, verteilt auf ein 1 g -Volumen eines Kunststoffmodells von einem 5,5 kg schweren Kopf eines großen erwachsenen Mannes, das mit einer homogenen Flüssigkeit (einer Kochsalzlösung, Anm. der Übersetzer) gefüllt ist, oder verteilt auf ein 10 g-Volumen eines 100 kg schweren Kunststoffmodells seines Körpers. Für Kopf und Rumpf ist ein lokaler SAR-Wert von 1,6 W/kg zulässig, für die Extremitäten einschließlich des Ohrs (der Ohrmuschel) 4,0 W/kg.

Mit einer computergesteuerten Sonde, die in den mit Flüssigkeit gefüllten Modellkopf eintaucht (siehe Abb. 6), wird die elektromagnetische Feldstärke an verschiedenen Punkten im Inneren des Modells des 12-Pfund schweren Kopfes eines großen erwachsenen Mannes gemessen. Die SAR wird dann mit der folgenden Gleichung berechnet,

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \tag{1}$$

wobei  $\sigma$  die Leitfähigkeit der Kochsalzlösung bei der maßgeblichen Frequenz,  $E$  die elektrische Feldstärke und  $\rho$  die Dichte des Mediums ist. Das Messprotokoll ist in der IEEE-Norm C95.1 -2019 festgelegt.<sup>38</sup> Das menschenähnliche Phantom ist als Specific Anthropomorphic Mannequin (SAM) bekannt und wurde von der IEEE genormt.<sup>39</sup> Die SAR-Bewertung wurde von einer Reihe von Autoren<sup>40</sup> als Unterschätzung der Absorption bei kleineren Personen und Kindern kritisiert, da die Abmessungen des SAM auf einem Modell des 90. Perzentils von Rekruten des US-Militärs aus dem Jahr 1989 beruhen.<sup>41,42,38</sup> Die homogenisierte Kochsalzlösung, die zur elektrischen Nachahmung von Fleisch verwendet wird, kann die unterschiedlichen und stark voneinander abweichenden Leitfähigkeiten und Dichten verschiedener Gewebe unterschiedlichen Alters nicht berücksichtigen.<sup>43</sup>

Diesem Modell zur Abschätzung der Exposition liegt die Annahme zugrunde, dass der einzige Schaden, der durch eine elektromagnetische Welle verursacht werden kann, die Erwärmung des Gehirns oder des Körpers ist. Kurz gesagt, wenn die Erwärmung durch die Exposition zu einem Anstieg der Körperkerntemperatur von weniger als 1 °C führt, wird sie als nicht gefährlich angesehen. Die Kritik an der SAR wird in Abschnitt 7

über die Notwendigkeit einer Aktualisierung der Grenzwerte weiter erörtert.

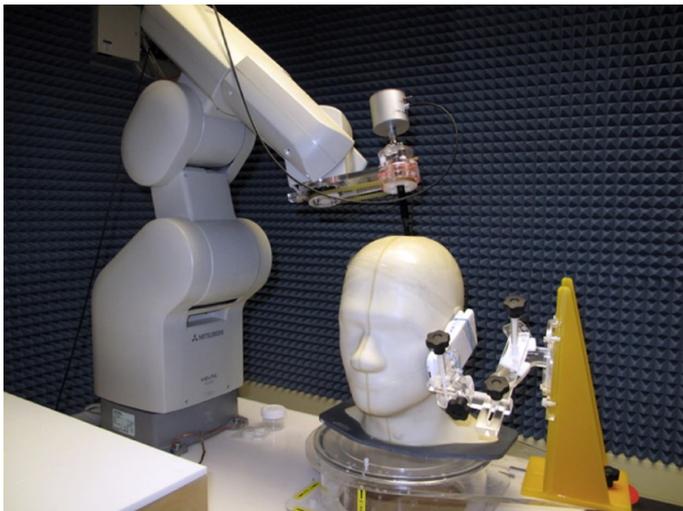


Abb. 6: SAR-HF (Hochfrequenz)-Testsystem für Mobiltelefone unter Verwendung eines Kopfmodells (Specific Anthropomorphic Mannequin).

Eine weitere Messgröße ist die Leistungsflussdichte in der Umgebung (Umgebungs-PD, PD=Power Density), die in Watt pro Quadratmeter oder Milliwatt pro Quadratmeter gemessen wird. Die Leistungsflussdichte in der Umgebung misst den Fluss elektromagnetischer Energie pro Quadratmeter (Fläche senkrecht zur Strahlungsrichtung – Anmerkung der Übersetzer) von einer weit entfernten Quelle, z. B. einer Mobilfunkbasisstation. In den USA liegt der Sicherheitsgrenzwert für die Exposition der Allgemeinheit gegenüber Quellen wie Basisstationen bei  $10 \text{ W/m}^2$  (manchmal auch als  $1 \text{ mW/cm}^2$  angegeben).

Die Ursprünge der Umgebungs-PD- und der SAR-Vorschriften lassen sich bis in die späten 1950er Jahre zurückverfolgen, als die US-Armee und -Marine aufgrund von Studien an einer Handvoll Hunden, Affen und Ratten besorgt waren über mögliche Schäden durch die Erwärmung von Radargeräten.<sup>44,45</sup> Es wurden Augenschäden und Verbrennungen durch übermäßige Exposition festgestellt und der Standard für die Strahlenbelastung wurde auf  $10 \text{ W/m}^2$  festgelegt.<sup>2,44,46</sup> Dies wurde mit der Herausgabe des ersten amerikanischen Standards im Jahr 1966 durch die American Standard Association und dann durch das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) zum etablierten Paradigma für die Exposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung und hat sich seither gehalten. Weitere Forschungsarbeiten, einschließlich Verhaltensstudien an Tieren, die EMF in einem Ausmaß ausgesetzt waren, das keine innere Erwärmung (von mehr als  $1^\circ\text{C}$ ) verursachte, bestätigten diese ursprüngliche Annahme.<sup>42</sup> Im Jahr 1996 legte die US Federal Communications Commission (FCC) aktuelle Richtlinien für die zulässige HF-Exposition der Allgemeinheit in einem Bereich von 300 kHz bis 100 GHz (3G bis 5G und darüber) fest.<sup>47</sup> Diese basieren auf einem Bericht des National Council on Radiation Protection & Measurements (NCRP) aus dem Jahr 1986 sowie auf der Norm C95.1-1991 des Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

Auf internationaler Ebene orientieren sich viele nationale Regierungen bei den Expositionswerten entweder an der FCC oder an der Internationalen Kommission für den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP).<sup>10</sup> Ein Vergleich der zulässigen PD-Grenzwerte in den einzelnen Ländern ist in Abb. 7 dargestellt. Die ICNIRP ist aus einem Arbeitsausschuss der Internationalen Kommission für Strahlenschutz hervorgegangen, einer

Nicht-Regierungsorganisation, die Fachleute und Einrichtungen der Mobilfunkindustrie vertritt.<sup>48</sup>

In zahlreichen Veröffentlichungen wurde die ICNIRP als eng vernetzte, nur mit eingeladenen Mitgliedern arbeitende Gruppe kritisiert, die Forschungsergebnisse<sup>49</sup>, die auf biologische Wirkungen auf nicht-thermischer Ebene hinweisen, herunterspielt und falsch darstellt und sich stattdessen auf ihre eigenen Kommissionsmitglieder bezieht, von denen viele in der Vergangenheit Interessenkonflikte hatten.<sup>50,51</sup> Die ICNIRP- und FCC-Grenzwerte für SAR sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Trotz unzähliger Studien, die nicht-thermische biologische Wirkungen von Hochfrequenzstrahlung belegen (siehe unten), erkennen ICNIRP und IEEE nicht-thermische Wirkungen nicht als ausreichend "erwiesen" an, um für Expositionsgrenzwerte relevant zu sein.<sup>7,8,31</sup> Zahlreiche wissenschaftliche Expertengruppen<sup>7,29,52</sup> wie ICBE-EMF und ORSAA stimmen dieser Ansicht ausdrücklich nicht zu. Dennoch hat die FCC ihre Richtlinien 2019 bekräftigt, indem sie einfach den bestehenden Standard von 1996 bestätigte.<sup>53,54</sup>

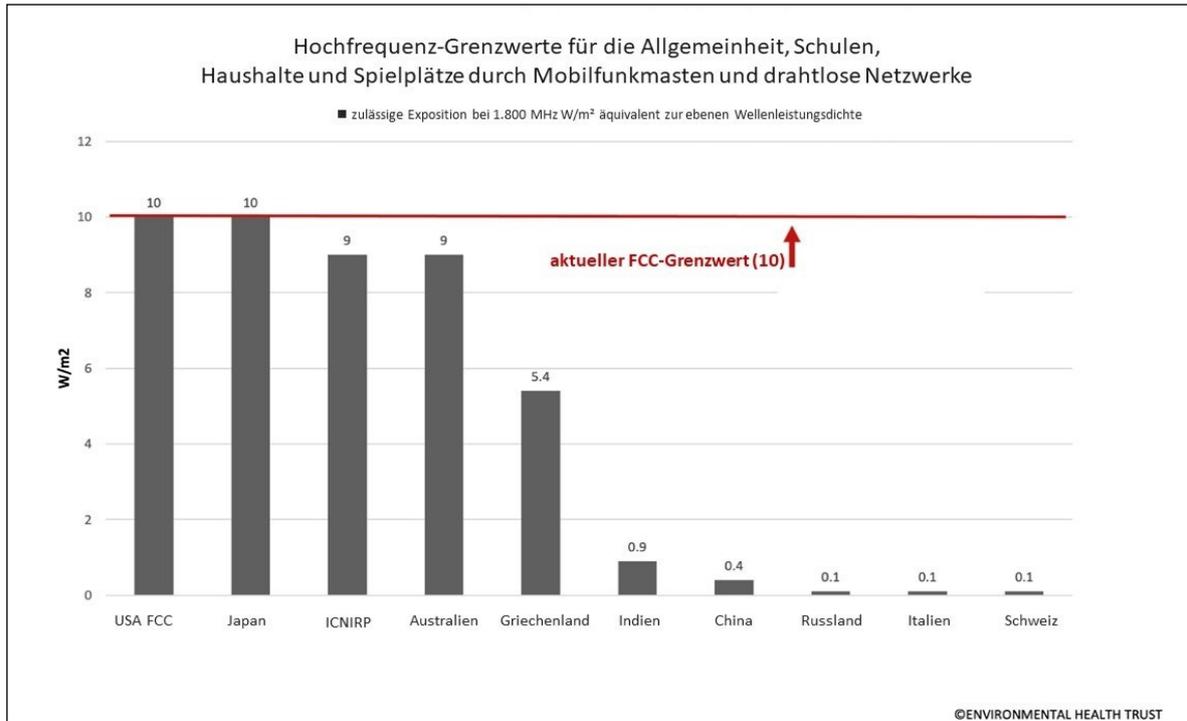
*Im Jahr 2021 fällte der U.S. Court of Appeals for the District of Columbia Circuit sein Urteil in der Rechtssache Environmental Health Trust et al. gegen FCC und stellte fest, dass die Behörde es versäumt hatte, eine rationale Prüfung aller vorgelegten wissenschaftlichen Erkenntnisse vorzunehmen und insbesondere nicht belegen konnte, die ihr vorgelegten Studien über die größere Gefährdung von Kindern, die Auswirkungen von Langzeitexpositionen, die Umweltauswirkungen geprüft zu haben oder es versäumt hatte, die Strahlungstestverfahren, die sich seit mehr als 27 Jahren nicht geändert haben, für Mobiltelefone und andere drahtlose Geräte zu aktualisieren.*

Im Jahr 1996 legte die US-amerikanische Federal Communications Commission (FCC) die aktuellen Richtlinien für die zulässige HF-Exposition der Allgemeinheit im Bereich von 300 kHz bis 100 GHz (3G bis 5G und darüber) fest.<sup>47</sup> Dies führte zu einer Klage gegen die FCC, da der FCC mehr als 11.000 Seiten veröffentlichter wissenschaftlicher Studien und Expertenempfehlungen vorgelegt worden waren, die eine Verschärfung der HF-Expositionsrichtlinien erforderlich machten.<sup>55</sup> Die FCC versäumte es, eine rationale Prüfung der vorgelegten wissenschaftlichen Erkenntnisse vorzunehmen und berücksichtigte insbesondere nicht die Erkenntnisse über die größere Gefährdung von Kindern oder die Auswirkungen auf die Umwelt. Die Grenzwerte für die menschliche Exposition und die Strahlungstestverfahren für Mobiltelefone und andere drahtlose Geräte haben sich seit mehr als 27 Jahren nicht geändert.

*In Italien, der Schweiz und Russland sind die Grenzwerte für die Belastung der Bevölkerung durch hochfrequente Strahlung von Mobilfunkmasten 100-mal niedriger als in den USA, wo sie zuletzt 1996 festgelegt wurden.*

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) unterhält ein spezielles EMF-Projekt<sup>56</sup>, das nationale Regierungsvorschriften<sup>57</sup> zusammenträgt und nationalen Regierungsbehörden beratend zur Seite steht. Das EMF-Projekt der WHO hat jedoch seit 1993<sup>58</sup> keine Bewertung des Gesundheitsrisikos hochfrequenter elektromagnetischer Felder vorgenommen, und einige haben seine Unabhängigkeit sowie seine Rolle bei der globalen

Abb. 7: Länderunterschiede bei den Grenzwerten für Hochfrequenzstrahlung.



\***Schweiz & Italien:** gilt für Orte mit sensiblen Nutzern wie Mehrfamilienhäuser, Schulen, Krankenhäuser, Arbeitsplätze, Kinderspielplätze und wo Menschen stundenlang bleiben. **China:** Standard-Vorsorgeprinzip für Städte, ermutigt die Unternehmen zu Maßnahmen zur Verringerung der Exposition der Öffentlichkeit. **Griechenland:** Grenzwert für einen Radius von 300 m um Kindergärten, Schulen, Krankenhäuser und Altenpflegeheime.

Tabelle 2: ICNIRP- und FCC-SAR-Grenzwerte in den USA und anderen Ländern

SAR-Grenzwerte für Mobiltelefone und drahtlose Geräte	Durchschnittlicher Ganzkörper-SAR-Wert (W/kg)	Kopf und Rumpf* Lokaler SAR-Wert (W/kg)	Gliedmaßen und Extremitäten** Lokaler SAR-Wert (W/kg)	Beispiele für Länder, die Grenzwerte von Mobiltelefonen und drahtlosen Geräten vor Markteinführung angepasst haben
<b>ICNIRP</b> 100 kHz bis 6 GHz Alle SAR-Grenzwerte, gemittelt über 6 Minuten	0,4 W/kg	<b>Arbeitswelt</b> 10 W/kg, gemittelt über 10 g Gewebe	20 W/kg, gemittelt über 10 g Gewebe	Europa, Mexiko, China, Grönland, Kanada (für über 6 GHz), die meisten Länder Südamerikas außer Bolivien, die meisten Länder Afrikas
Lokaler SAR-Wert gemittelt über 10 g Gewebe	0,08 W/kg	<b>Allgemeine Bevölkerung</b> 2 W/kg, gemittelt über 10 g Gewebewürfel	4 W/kg, gemittelt über 10 g Gewebewürfel	
<b>ICNIRP (2020)</b> >6-300 GHz	0,4 W/kg	<b>Arbeitswelt</b> Lokaler $S_{ab}$ 100 mW/cm <sup>2</sup>		Australien
*6 Minuten Mittelwertbildung ICNIRP besagt: "Lokale $S_{ab}$ ist über eine quadratische 4 cm <sup>2</sup> -Körperoberfläche zu mitteln. Oberhalb von 30 GHz wird eine zusätzliche Beschränkung auferlegt, so dass die über eine quadratische Körperoberfläche von 1 cm <sup>2</sup> gemittelte Exposition auf das Zweifache der 4 cm <sup>2</sup> -Beschränkung begrenzt ist."	0,08 W/kg	<b>Allgemeine Bevölkerung</b> Lokaler $S_{ab}$ 20 mW/cm <sup>2</sup>		
<b>FCC</b> Arbeitswelt, Durchschnittszeit 6 Minuten Bevölkerung, Durchschnittszeit zw. 6 und 30 Minuten	0,4 W/kg	<b>Arbeitswelt</b> 8 W/kg, gemittelt über 1 g Gewebewürfel	20 W/kg, gemittelt über 10 g Gewebewürfel	Vereinigte Staaten, Indien, Panama, Korea, Vietnam, Kanada (für Frequenzen unter 6 GHz), Iran, Bolivien, Kuba
	0,08 W/kg	<b>Allgemeine Bevölkerung</b> 1,6 W/kg, gemittelt über 1 g Gewebewürfel	4 W/kg, gemittelt über 10 g Gewebewürfel	

\*ICNIRP's Kopf- und Rumpfgewebe haben sowohl Typ 1 als auch Typ 2. Die ICNIRP definiert Typ 1 als alle Gewebe des Oberarms, des Unterarms, der Hand, des Oberschenkels, des Beins, des Fußes, der Ohrmuschel (sichtbarer Teil der Ohrmuschel) sowie der Hornhaut, der vorderen Augenkammer und der Iris des Auges, der Epidermis, der Haut, des Fettgewebes, der Muskeln und des Knochengewebes. Die ICNIRP definiert Gewebe des Typs 2 wie folgt: alle Gewebe in Kopf, Auge, Bauch, Rücken, Thorax und Becken, mit Ausnahme der als Gewebe des Typs 1 definierten Gewebe. Gliedmaßen enthalten kein Typ 2-Gewebe. \*\*FCC definiert Extremitäten als Hände, Handgelenke, Füße, Knöchel, Ohrmuscheln.

Harmonisierung von EMF-Standards in Frage gestellt.<sup>59,60</sup> Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) der Weltgesundheitsorganisation ist eine vom EMF-Projekt der WHO getrennte Einrichtung. Die IARC stufte HF-Strahlung im Jahr 2011 als mögliches Karzinogen der Klasse 2B ein.<sup>61</sup> In den letzten Jahren hat die IARC-Beratungsgruppe eine Neubewertung der Beweise für die Risiken von Mobiltelefonen für die menschliche Gesundheit empfohlen und zwar im Lichte der zunehmenden Beweise für die hier diskutierten negativen Auswirkungen.

**S**eit 1996 wird die zulässige Strahlung eines bestimmten Mobiltelefons getestet, indem die Temperaturveränderungen im Inneren eines 5,5 kg schweren SAM-Phantomkopfes (Specific Anthropomorphic Mannequin) aus Kunststoff gemessen werden, der mit homogener Kochsalzlösung gefüllt ist, um das menschliche Gehirn mit seinen verschiedenen Geweben und Dichten zu simulieren, und der ein 6- bis 30-minütiges Mobiltelefongespräch führt, wobei ein Abstandshalter zwischen dem Kopf und dem Test-Telefon angebracht ist, um das Ohr/die Ohrmuschel zu schützen.

## Physikalische Mechanismen der Interaktion von HF-Strahlung und Gewebe

Die neuen 5G-Netze nutzen die Frequenzen der vorherigen Generationen, können aber zusätzlich höhere Submillimeter- und Millimeterwellenfrequenzen verwenden. Je höher die Frequenz, desto weniger dringt die Strahlung in den Körper ein, aber eine geringere Durchdringung bedeutet nicht, dass es keine oder nur geringe biologische Auswirkungen gibt. Im Gegenteil, UVA- und UVB-Strahlung wird vollständig von der Haut absorbiert und können im gesamten Körper erhebliche immunologische Auswirkungen haben, einschließlich auf die Produktion von Vitamin D. Tatsächlich können die immunologischen Auswirkungen der UV-Hautexposition Folgen für Leber, Niere und andere wichtige Organe haben, ebenso wie die niedrigeren MHz- und GHz-Frequenzen, die tiefer in den Körper eindringen können. Wichtig ist, dass die in drahtlosen und medizinischen Geräten verwendeten künstlichen Hochfrequenzen moduliert, polarisiert und gepulst sein können, was ihre letztendlichen Auswirkungen stark beeinflusst und verändern kann.<sup>62,63</sup>

Elektrotherapiegeräte stellen ein wachsendes Feld klinischer Anwendungen dar, was eine Reihe medizinischer Geräte umfasst, von der Schmerzbehandlung in der Orthopädie bis hin zur Krebsbehandlung, Biofeedback und der Verwendung von gepulsten elektromagnetischen Feldern geringer Stärke.<sup>64</sup> Wie bei Arzneimitteln kann jedes Mittel, das die Heilung fördert, auch Krankheiten fördern. Daher ist es wichtig, die potenziellen Mechanismen der Wechselwirkung zwischen Gewebe und elektromagnetischen Wellen zu untersuchen.

Eine wichtige Teilung des Spektrums findet bei einer Frequenz von etwa  $10^{15}$  Hz (Wellenlänge  $10^{-8}$  m) statt. Während Maxwells Theorie, wie oben beschrieben, Licht als klassische Wellen betrachtet, geht die moderne Quantentheorie von einem Dualismus aus, indem sie Licht sowohl als Teilchen als auch gleichzeitig als Welle betrachtet.<sup>65</sup> Man kann sich ein oszillierendes Paket von Wellen vorstellen, das räumlich begrenzt ist und sich als Einheit durch den Raum bewegt. Dies wird als Photon bezeichnet und die Energie, die es enthält, ist proportional zur Frequenz seiner Schwingung. Je mehr sich die Frequenz verringert und die Wellenlängen makroskopisch größer werden (die Wellenlänge des sichtbaren Lichts wird in Hunderten von Na-

nometern gemessen, während die Wellenlängen von Radiowellen im MHz-Bereich in Hunderten von Metern gemessen werden), desto weniger lässt sich die Quantenbeschreibung des Lichts von der klassischen Theorie von Maxwell unterscheiden.

Die Energie eines Lichtphotons bei Frequenzen im UV-Bereich und darüber reicht aus, um die Ionisierung biologischer Moleküle zu bewirken. Das bedeutet, dass die Absorption des Photons durch das Molekül zum Aufbrechen chemischer Bindungen und damit zur Zerstörung des Moleküls führen kann. Insbesondere bei der DNA kann ein solcher Vorgang zur Förderung von Krebserkrankungen führen. Bei Frequenzen von Radiowellen kann eine direkte Ionisierung der DNA oder anderer Moleküle nicht stattfinden. Auf submikroskopischer Ebene können Moleküle als Ansammlungen von potenziell geladenen Atomen betrachtet werden, die durch chemische Bindungen zusammengehalten werden, da sie Elektronen miteinander teilen. HF-Strahlung wirkt insbesondere auf Atome, die dazu neigen, geladen zu sein; entweder auf positiv geladene "Kationen" (Natrium  $\text{Na}^+$  oder Kalzium  $\text{Ca}^{2+}$  zum Beispiel) oder negativ geladene "Anionen" (Chlorid  $\text{Cl}^-$ ). Folglich reagieren Bindungen auf ein äußeres elektromagnetisches Feld, auch wenn dessen Frequenz nicht hoch genug ist, um zu einer direkten Ionisierung zu führen. Man kann eine solche Störung als sanftes "Anstupsen" der Ionen betrachten. Unter bestimmten Bedingungen können sich Bindungen verändern und neue Chemikalien bilden. Tatsächlich werden Mikrowellen kommerziell genutzt, um die Produkte chemischer Reaktionen mit Hilfe der "Mikrowellenkatalyse" zu beschleunigen und zu verändern.<sup>66</sup> Dysfunktionale chemische Reaktionen können die Ursache für viele verschiedene Formen von Gesundheitsstörungen bei lebenden Organismen sein.

## Biologische Pfade für nicht-ionisierende Wirkungen

Es gibt mehrere Mechanismen<sup>67,68,69,70,71</sup>, die an den biologischen Wirkungen von HF-Strahlung beteiligt sein können, darunter die Induktion (Zunahme) von ROS (Reactive Oxygen Species), die zu oxidativem Stress führt, die Aktivierung des ERK1/2-Signalwegs und die Induktion von Hitzeschockproteinen. Einer der anerkannten Schädigungswege ist die Störung der spannungsgesteuerten Kalziumkanäle (VCCG) durch gepulste EMF.<sup>72</sup> VCCGs sind ein integraler Bestandteil der Zellmembranen, die für den Transport von Kalziumionen durch die Zellmembran zur Signalgebung und Regulierung der zellulären Homöostase verantwortlich sind. Im Jahr 2000 kamen Panagopoulos et al. zu dem Schluss, dass die extrem niederfrequenten EMF-Komponenten der drahtlosen Kommunikationssignale ein entscheidender Faktor für das Verständnis sind, wie die Exposition zu Pathologien führen kann.<sup>72,73</sup> Wiederholtes unregelmäßiges Öffnen von elektrosensiblen Ionenkanälen stört das zelluläre elektrochemische Gleichgewicht und die Homöostase, was zu einer Überproduktion von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) führt. Die kaskadenartigen Auswirkungen wiederholter Expositionen können zu zahlreichen biologischen Endpunkten führen, einschließlich der Schwächung von Zellmembranen.

Eine Störung der ROS-Homöostase führt zu einem pathologischen Zustand<sup>74</sup>, der als "oxidativer Stress" bezeichnet wird und eine wesentliche Rolle bei der Regulierung der Krebsentwicklung spielt. Es ist bekannt, dass ROS jeden Schritt der Tumorentstehung regulieren, und es wurde festgestellt, dass sie in Tumoren hochreguliert sind; dies kann zu einer abweichenden Signalübertragung führen. Neben Krebs spielt oxidativer Stress auch eine Rolle<sup>75</sup> bei der Entstehung vieler anderer chronischer

Krankheiten, einschließlich Diabetes und neurodegenerativer Syndrome. Überprüfungen von Tier- und Zellstudien zeigen durchweg, dass selbst sehr geringe nicht-ionisierende EMF-Expositionen mit erhöhtem oxidativem Stress verbunden sind. Kinder, deren Immunsystem sich noch in der Entwicklung befindet, sind anfälliger für diese ROS-Effekte.<sup>76,77</sup> Im Jahr 2019 fand Lai deutliche Hinweise darauf, dass die Exposition gegenüber statischen und extrem niederfrequenten elektromagnetischen Feldern auch den oxidativen Status in Zellkulturen und Versuchstieren beeinflusst.<sup>67, 68, 69, 70, 71, 72</sup>

## Die besondere Anfälligkeit von Kindern gegenüber drahtloser Strahlung

Kinder sind gegenüber drahtloser Strahlung<sup>78, 79, 80, 81</sup> ebenso wie gegenüber anderen Umweltschadstoffen<sup>9</sup> und Medikamenten besonders anfällig. Heutige und künftige Generationen werden viel mehr kumulative Lebenszeit unter HF-Bestrahlung verbringen, da die Exposition bereits vor der Geburt beginnt und während des gesamten frühen und späteren Lebens anhält.

Kinder haben eine einzigartige Physiologie, die im Vergleich zu Erwachsenen zu einer größeren HF-Absorption führt.<sup>4</sup> Kinder haben kleinere Köpfe, was dazu führt, dass die HF-Strahlung kürzere Entfernungen zurücklegen muss, um kritische Hirnregionen zu erreichen, und ihre Gehirne enthalten mehr Flüssigkeit,

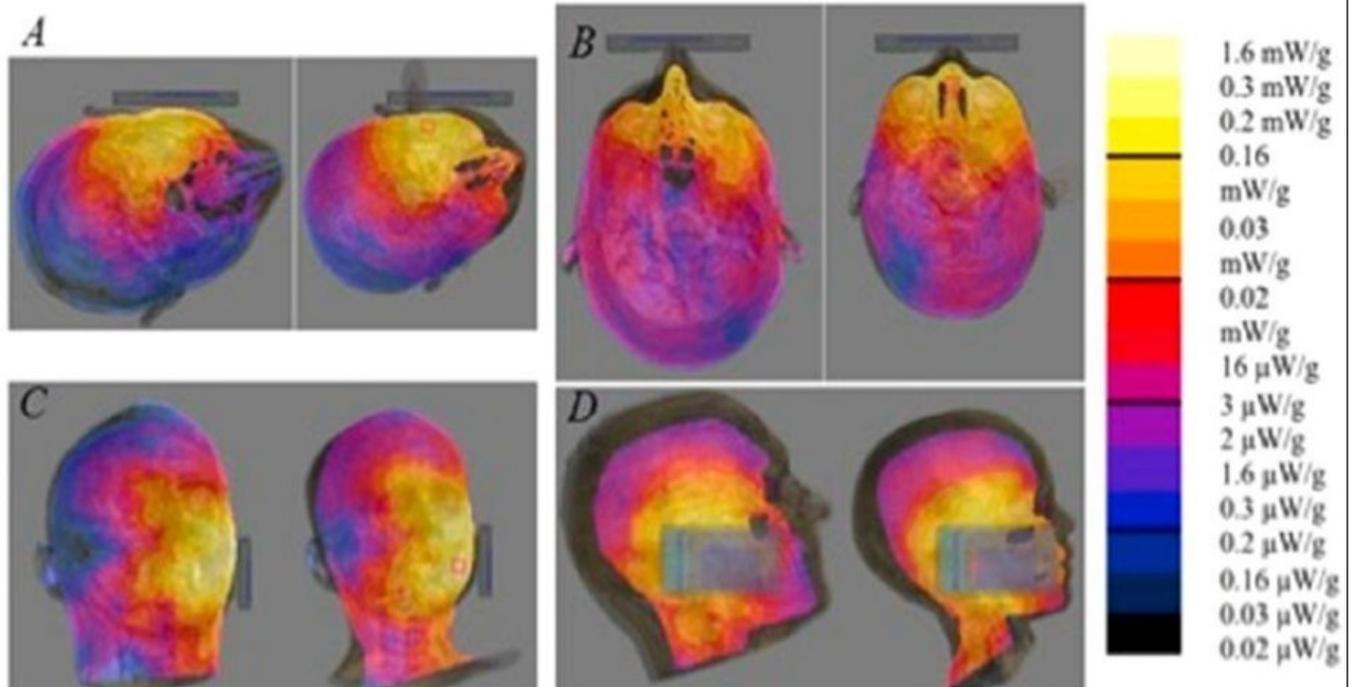
die verhältnismäßig mehr Energie von hochfrequenten Strahlungsquellen absorbieren kann. Abb. 8<sup>70</sup> zeigt, was Simulationen der Exposition durch die Nutzung von Mobiltelefonen ergeben haben: Kinder absorbieren bis zu 10-mal mehr HF-Strahlung im pädiatrischen Kleinhirn, 10-mal mehr im Knochenmark des Schädels und bis zu 30-mal mehr im Hippocampus.<sup>82</sup> Die Augen von Kindern können 2- bis fast 5-mal höhere Dosen aufnehmen.

*K*inder absorbieren unverhältnismäßig mehr HF-Strahlung als Erwachsene; im Kleinhirn von Kindern ist die Aufnahme um das Zweifache, im Knochenmark des Schädels um das Zehnfache und im Hippocampus um das 30-Fache höher. Die Augen von Kindern können 2- bis fast 5-mal höhere Dosen absorbieren als die von Erwachsenen.

Das Gehirn und das Körpergewebe von Kindern haben eine höhere Dielektrizitätskonstante, ein Maß für die Mühelosigkeit, mit der sich elektromagnetische Felder durch verschiedene Medien bewegen können. Peyman<sup>83</sup> dokumentierte, dass das junge Gehirn eine höhere Dielektrizitätskonstante aufweist, was auf den höheren Wassergehalt und die weniger entwickelte Myelinscheide zurückzuführen ist. Auch Knochengewebe verändert sich im Laufe der Zeit je nach dem Grad der Mineralisierung der Knochenmatrix.

## Absorption von Funkstrahlung im Gehirn und im Auge von Kindern und Erwachsenen bei Handygesprächen oder Virtual Reality

(2018) Fernandez C et al. Environmental Research. June 5, 2018



SAR im Querschnitt des Kopfes eines Jungen und eines erwachsenen Mannes, mit dem Handy in Gesprächsposition und in Positionen bei Virtual Reality. A Axiale Schnitte (Draufsicht) von Thelonious (6 Jahre) und Duke (34 Jahre), mit Handy in Wangenposition, die Augen überschneidend; B Axiale Schnitte (Draufsicht) von Thelonious (6 Jahre) und Duke (34 Jahre), mit Handy in Virtual-Reality-Position; C Quasi-koronale Schnitte (Frontalansicht) von Thelonious (6 J.) und Duke (34 J.), mit Handy in Wangenposition, durch das Ohr; D Parasagittale Schnitte (Seitenansicht) von Thelonious (6 J.) und Duke (34 J.), mit Handy in der Virtual-Reality-Position, durch das Auge hindurch. Die Skala beträgt 50 dB mit O dB=1,6 mW/g.

Abb. 8: Absorption drahtloser Strahlung im Gehirn und im Auge von Kindern und Erwachsenen durch Mobiltelefone oder Virtual Reality.<sup>70</sup> (Zur Interpretation der Farbangaben in dieser Abbildung wird der Leser auf die Webversion dieses Artikels verwiesen: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1538544223000238>).

Die größte altersabhängige Veränderung der dielektrischen Eigenschaften ist bei Knochen zu beobachten, da sich mit dem Wachstum eines Tieres der hohe Wassergehalt des roten Marks in den hohen Fettgehalt des gelben Marks verwandelt. Jedes Gewebe im Körper hat einzigartige dielektrische Eigenschaften. So werden beispielsweise die unterschiedlichen dielektrischen Eigenschaften von normaler und krebsartiger Brust genutzt, um die Erkennung abnormaler Zellen zu verbessern<sup>84</sup> und strahlenbasierte Behandlungen für die Krankheit zu entwickeln.<sup>85</sup>

Schwangerschaft, Säuglings- und Kindesalter sind Perioden kritischer Anfälligkeit, insbesondere für das sich schnell entwickelnde Gehirn.<sup>86</sup> Kinder haben ein schnelleres Wachstum der Nervenzellen, und die fetthaltige Schutzhülle des Myelins bildet sich erst mit Mitte 20 vollständig aus.<sup>87</sup> Selbst sehr geringe Mengen einer Umweltexposition in der frühen Entwicklungsphase können lebenslange Auswirkungen auf die Nervenentwicklung haben. Stammzellen<sup>88</sup> sind bei Kindern aktiver und reagieren nachweislich empfindlicher auf Funkfrequenzen als differenzierte Zellen.<sup>88</sup> Mobiltelefone und drahtlose Geräte werden vor der Markteinführung auf ihre HF-Emissionen getestet, wobei das große SAM-Modell für Erwachsene mit einem hohlen, zwölf Pfund schweren Kopf verwendet wird, in den eine homogene Flüssigkeit gegossen wird. Die Geräte werden weder mit dem kleineren Kopf und Körper eines Kindes noch mit Schwangerschaftsmodellen getestet.<sup>42</sup> Die Geräte werden auch in einem gewissen Abstand vom Körper getestet, ohne direkten Kontakt zwischen der Antenne und dem Körper oder Schädel. Aus diesem Grund finden sich in den meisten Smartphones, WLAN-Geräten und anderen drahtlosen elektronischen Geräten Hinweise in den Benutzerhandbüchern, in denen empfohlen

wird, die Geräte in einem gewissen Abstand vom Körper zu halten. Abb. 9<sup>77</sup> zeigt das simulierte Strahlungsmuster eines WLAN-Tablets auf den Kopf eines 6-Jährigen.

## Fortpflanzung und Schwangerschaft

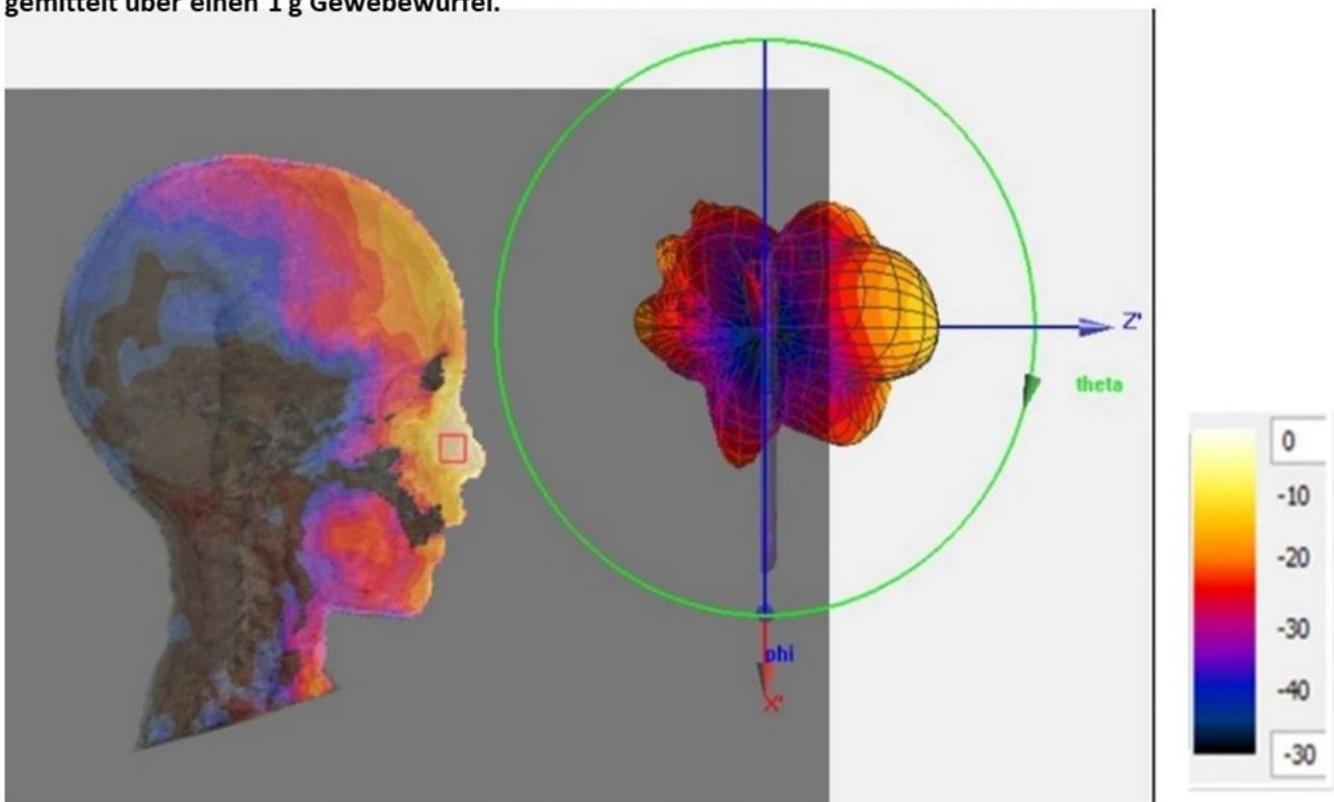
### Fortpflanzungsfähigkeit

Mehrere, aber nicht alle Studienübersichten<sup>89</sup> über die Auswirkungen von EMF auf die männliche und weibliche Fortpflanzungsfunktion haben zahlreiche schwerwiegende Auswirkungen festgestellt, die bei HF-Werten auftreten, die das Gewebe nicht erhitzen. Gye und Park<sup>90</sup> und Jangid et al.<sup>91</sup> stellen eine Reihe von experimentellen In-vivo- und In-vitro-Studien vor, die zeigen, dass nicht-ionisierende, nicht-thermische EMF-Exposition die zelluläre Homöostase, die endokrine Funktion, die Fortpflanzungsfunktion und die fötale Entwicklung verändern kann. Es wurde über Auswirkungen auf männliche und weibliche Reproduktionsparameter berichtet, einschließlich des Absterbens männlicher Keimzellen, des Östrogenzyklus, der reproduktiven endokrinen Hormone, des Gewichts der Reproduktionsorgane, der Spermienmotilität, der frühen Embryonalentwicklung und des Schwangerschaftserfolgs.

Zu den Mechanismen, die auf zellulärer Ebene eine Rolle zu spielen scheinen, gehört der Anstieg von freien Radikalen und Kalziumionen [ $Ca^{2+}$ ] im Zusammenhang mit den Auswirkungen von EMF, die zu einer Hemmung des Zellwachstums, Proteinfehlfaltungen und DNA-Brüchen führen. Zu den Reproduktionsparametern, die Berichten zufolge durch EMF beeinträchtigt

### 2,45 GHz Wi-Fi-fähiges Tablet bei einem 6-jährigen Kind (THELONIOUS)

Strahlungsmuster normiert auf  $0,0132 \text{ W/g} = 0 \text{ dB}$ , mit einer 30-dB-Farbskala, und SAR gemittelt über einen 1 g Gewebewürfel.



Ferreira, J., & Almeida de Salles, A. (2015). Specific Absorption Rate (SAR) in the head of Tablet users. The 7th IEEE Latin-American Conference On Communications (Latincom 2015), 1538, 5-9. Retrieved 3 June 2020.

Abb. 9: Strahlungsmuster eines 2,45 WLAN-fähigen Tablets im Kopfmodell eines 6-Jährigen. Das Strahlungsmuster ist auf  $0,0132 \text{ W/g} = 0 \text{ dB}$  normiert, mit einer 30 dB-Farbskala, und der SAR-Wert ist über 1 g-Gewebewürfel gemittelt.

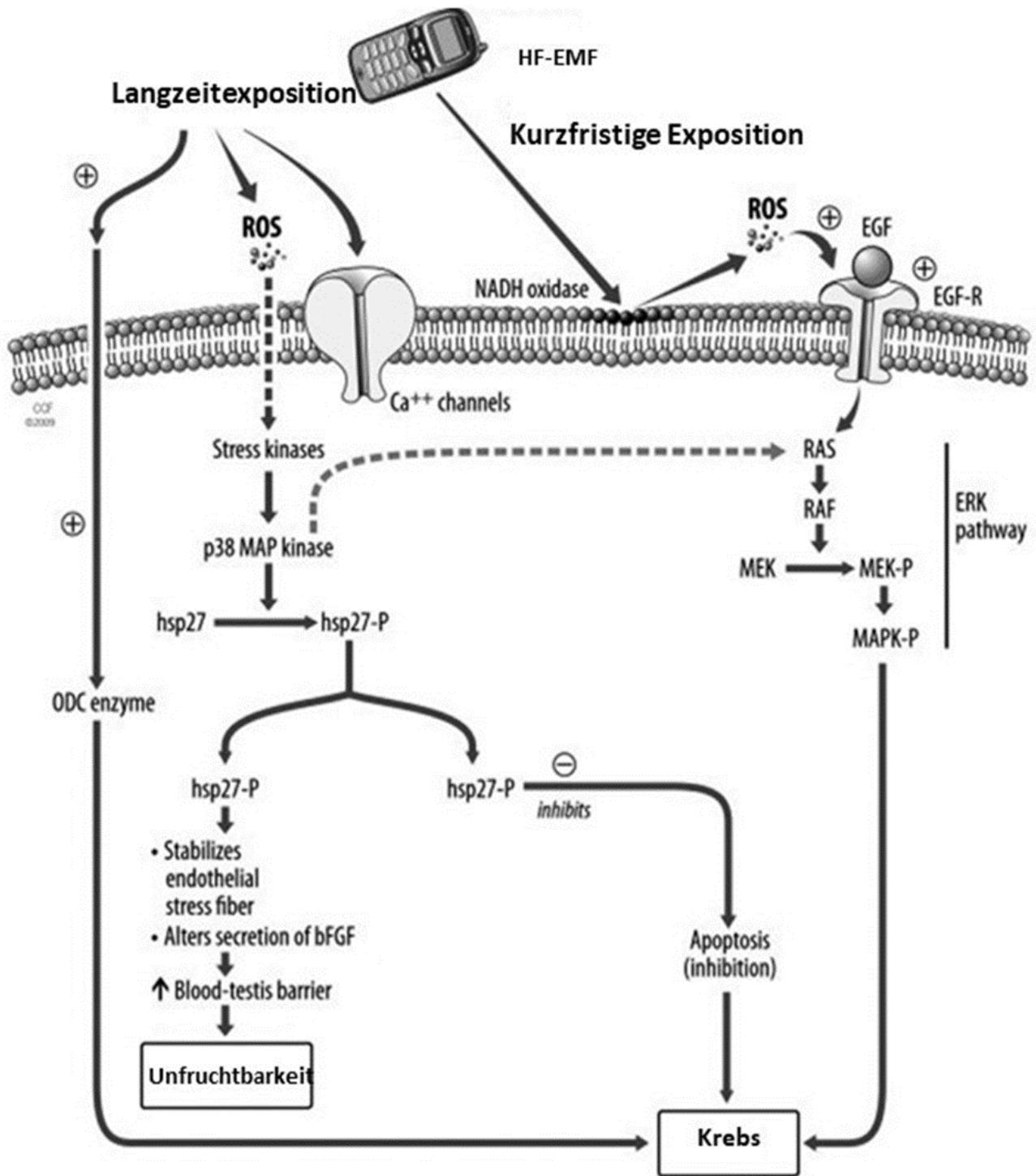


Abb. 10: Akute und chronische Auswirkungen von Handystrahlung auf die männliche Fortpflanzung. Die Abbildung zeigt verschiedene akute und chronische zelluläre Endpunkte von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF).<sup>56,92</sup>

werden, gehören die Schädigung und das Absterben männlicher Keimzellen. Bei Frauen kann es zu Auswirkungen auf den Östrogenzyklus kommen, die sich auf die Ovarialfollikel, die reproduktiven endokrinen Hormone und das Gewicht der Fortpflanzungsorgane auswirken. Zu den Auswirkungen auf die Fortpflanzung gehören Beeinträchtigungen der frühen Embryonalentwicklung, der Befruchtung, Fehlgeburten und eine Reihe von schwangerschaftsbezogenen Beschwerden. Wie bei anderen Endpunkten unterscheiden sich die experimentellen Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfunktion je nach Frequenz, Polarität, Wellenform, Stärke (Energie) und Dauer der Exposition.

Eine Vielzahl von Forschungsergebnissen speziell zum männlichen Fortpflanzungssystem hat eine Verringerung des Testosteronspiegels<sup>92</sup> sowie Auswirkungen auf die Lebensfähigkeit,<sup>93</sup> die Beweglichkeit und die Morphologie der Spermien<sup>68,94,95,96,97,98,99,100</sup> aufgrund der aktuellen HF-Belastung durch Mobiltelefone oder andere Geräte festgestellt. Es wird davon ausgegangen, dass die Erzeugung von oxidativem Stress<sup>101</sup> ein wichtiger Wirkungsmechanismus ist, der den biologischen Auswirkungen von HF-Strahlung auf die Fortpflanzungsorgane zugrunde liegt und auch eine wichtige Rolle bei der Entstehung von Krebs spielen kann, wie weiter unten erläutert wird.<sup>101</sup>

Auf zellulärer Ebene wirken sich vermehrte freie Radikale auf den mitochondrialen Stoffwechsel aus und beeinträchtigen die Stickoxidkonzentration und die antioxidativen Mechanismen.<sup>102</sup> HF-Strahlung kann den Membrantransport und die Integrität der Membranen verändern und den Transport von Ionen (z.B. Kalzium) beeinträchtigen; diese gehören zu den Vermittlern der Wirkungen von EMF, die zu einer Hemmung des Zellwachstums, zu Proteinfehlfaltungen und DNS-Brüchen führen. Siehe Abb. 10.<sup>56,92</sup>

Eine akute Exposition kann die NADH-Oxidase der Plasmamembran stimulieren und die Produktion von ROS erhöhen. Erhöhte ROS können Rezeptoren des endothelialen Wachstumsfaktors (EGF) stimulieren, die wiederum den ERK-Weg (extrazelluläre signalregulierte Kinase) aktivieren. Der ERK-Weg besteht aus der anschließenden Aktivierung von Ras, Raf-Proteinen und der mitogen-aktivierten Proteinkinase (MAPK). Der MAPK-Stoffwechselweg spielt ebenfalls eine tumorfördernde Rolle. Eine chronische Exposition gegenüber ROS kann verschiedene Stresskinasen (p38 MAP-Kinase) aktivieren, den ERK-Weg stimulieren und auch zur Phosphorylierung von Hitzeschockproteinen (Hsp) führen, die die Apoptose hemmen und dadurch das Überleben geschädigter Zellen und damit die Karzinogenese fördern. Hsp können die Durchlässigkeit der Blut-Hoden-Schranke erhöhen und zu Unfruchtbarkeit führen. HF-Strahlung kann auch die Kalziumkanäle in der Membran beeinträchtigen und die Krebsentstehung fördern, indem es die Ornithindecaboxylase stimuliert, ein reaktionsratenbegrenzendes Enzym der Polyaminsynthese.

## **Die Schwangerschaft ist ein kritisches Fenster der Anfälligkeit**

Sowohl bei Tieren als auch bei Menschen wurden pränatale EMF-Expositionen mit einer Beeinträchtigung der Entwicklung von Strukturen und Funktionen des Gehirns sowie der Fortpflanzungsorgane und der Fortpflanzungsfähigkeit der Nachkommen in Verbindung gebracht. Experimentelle und epidemiologische Belege deuten darauf hin, dass die pränatalen Auswirkungen von einer gestörten Oogenese und Spermatogenese bis hin zu einem verringerten Volumen und einer verringerten Anzahl von Gehirnpyramidenzellen, anderen schwerwiegenden neuronalen Beeinträchtigungen, einer Dysfunktion der Eierstöcke<sup>103</sup> sowie einer erhöhten DNA-Schädigung in mehreren Organen<sup>104</sup> der Nachkommenschaft reichen könnten.

Die Schädigung der Eizellen weiblicher Nachkommen kann sich wiederum auf die Fruchtbarkeit und die Gesundheit der nachfolgenden Generationen auswirken. Die tägliche Exposition junger weiblicher Sprague-Dawley-Ratten mit 2 Stunden GSM-Strahlung ein und zwei Monate lang führte zu Entzündungen und einer Beeinträchtigung der Eierstockfunktion<sup>103</sup>, die mit Endometritis einhergeht, einem wachsenden Problem für junge Heranwachsende. Die Auswirkungen zwischen den Generationen werden zunehmend verstanden; eine Studie aus dem Jahr 2021 mit mehr als 200 Mutter-Tochter-Enkelin-Dreiergruppen ergab, dass die Enkelinnen der Mütter, die während der Schwangerschaft im oberen Drittel der DDT-Belastung lagen, ein 2,6-fach höheres Risiko hatten, mit Mitte zwanzig einen ungesunden Body-Mass-Index zu haben, und mehr als doppelt so häufig ihre Periode vor dem Alter von 11 Jahren bekamen - beides erhöht das Risiko, später im Leben Brustkrebs und andere chronische Krankheiten zu entwickeln.<sup>105</sup>

## **Toxikologischer Nachweis der schädlichen Auswirkungen von HF-Strahlung**

Experimentelle Studien bilden die Grundlage für die Bewertung von pharmazeutischen Wirkstoffen und anderen chemischen und physikalischen Umwelteinflüssen, die die Gesundheit von Kindern beeinträchtigen können. In-vitro-Studien mit etablierten tierischen Zelllinien und menschlichen Zelllinien sind eine wirksame Informationsquelle, die zur Vorhersage und Verhinderung von Schäden beim Menschen genutzt werden kann. Unter Verwendung validierter Nagetier- und anderer Modelle werden sowohl Kurzzeit- als auch Langzeit-In-vivo-Studien an Nagetieren und anderen Tieren durchgeführt, um die physiologischen Folgen von Expositionen zu klären.

Studien zu pränatalen Auswirkungen können Informationen über das Geburtsgewicht und die langfristigen Folgen für die Gesundheit der Nachkommen bis ins Erwachsenenalter liefern. Obwohl die Schlüsselrolle des Mannes mit der Befruchtung endet, können Schäden an Spermien in der Gebärmutter transgenerationale Auswirkungen auf die Nachkommen haben.<sup>106</sup> Es gibt immer mehr Beweise dafür, dass durch den Mann verursachte Faktoren, die sich sowohl auf Empfängnis und Befruchtung als auch auf die Exposition vor und während der Befruchtung beziehen, ebenfalls eine Rolle bei der Bestimmung der gesundheitlichen Folgen für die Nachkommenschaft spielen. Darüber hinaus wurde nachgewiesen, dass HF-Expositionen in der frühen Lebensphase eine Reihe negativer Auswirkungen auf die reproduktive Gesundheit von Männern und Frauen haben, einschließlich Schädigungen des Hodenproteoms<sup>107</sup> und niedrigem Geburtsgewicht. Nach einem Monat täglicher 4-stündiger kontrollierter Exposition gegenüber nicht-thermischer Handystrahlung waren die Signalproteine in den Hoden von Ratten und die Spermienproduktion signifikant verändert, was auf eine beeinträchtigte Fortpflanzungsfunktion und ein erhöhtes Krebsrisiko hindeutet.

Experimentelle Studien sind besonders nützlich, um die Auswirkungen vermeidbarer Umwelteinflüsse auf Kinder und Jugendliche zu verstehen, da kontrollierte Studien am Menschen unethisch sind. Daher sind die meisten Humanstudien, die zur Klärung der Auswirkungen von HF-Strahlung herangezogen werden können, Beobachtungsstudien. Häufig sind solche Studien spontan entstanden, komplex und teuer und auch schwierig zu interpretieren, da die Qualität der Längsschnittdaten mangelhaft ist und die Expositionsdaten begrenzt sind, insbesondere im Hinblick auf die sich entwickelnde Nutzung der sich ständig verändernden Technologien. In der realen Welt sind Kinder in ihrem täglichen Leben zahlreichen Quellen von HF-Strahlung mit verschiedenen Frequenzen und Modulationen ausgesetzt. Smartphones können mit fünf oder mehr Antennen betrieben werden, die gleichzeitig Strahlung zu und von Masten oder Routern senden und empfangen, da die meisten Apps so eingestellt sind, dass sie sich automatisch aktualisieren. In den meisten experimentellen Studien wird jedoch immer nur eine einzige Frequenz untersucht.

## **Pränatale Exposition und das zentrale Nervensystem**

In den letzten zwei Jahrzehnten wurde in einer Reihe von experimentellen Untersuchungen festgestellt, dass eine pränatale Exposition gegenüber bestimmten EMF sowohl die Struktur als

auch die Funktion des erwachsenen Zentralnervensystems (ZNS) negativ beeinflusst.<sup>108, 109, 110</sup> Beispielsweise zeigte eine Reihe von Experimenten von Odaci, Bas und Kaplan und Kollegen, in denen die Auswirkungen durch stereologische Analysen gemessen wurden, dass Nagetiere, die pränatal 900 MHz ausgesetzt waren, weniger Zellen und mehr Anzeichen von Schäden in verschiedenen Gehirnregionen des Hippocampus aufwiesen, die für Lernen und Gedächtnis zuständig sind.<sup>111</sup> Ebenso wurden in Studien über postnatale Expositionen von 8 Wochen alten Ratten Auswirkungen auf die Pyramidenzellen des Hippocampus festgestellt.<sup>112, 113</sup> Dieses Team fand auch pränatale und postnatale Auswirkungen auf die Purkinje-Zellen im Kleinhirn. Das Kleinhirn ist entscheidend für das Gedächtnis, das Gleichgewicht und die Impulskontrolle und scheint besonders anfällig für HF-Strahlung zu sein. Andere haben die Hypothese aufgestellt, dass HF-Strahlung auch den Membranstrom der Purkinje-Zellen im Kleinhirn verändern könnte.

Haghani et al. untersuchten die Eigenschaften von Purkinje-Zellen<sup>108</sup> nach pränataler Exposition mit 900 MHz EMF und fanden heraus, dass die exponierten Nachkommen eine signifikant reduzierte spontane Zellaktivität aufwiesen. Während diese Bereiche des Gehirns nach pränataler EMF-Exposition gut erforscht wurden, ist es wahrscheinlich, dass viele andere Bereiche des Gehirns in ähnlicher Weise betroffen sind.

## Pränatale Expositionen beim Menschen verändern Verhalten und Kognition der Nachkommen

Obwohl es nur wenige Studien gibt, haben Humanstudien, die die In-Utero-Exposition gegenüber drahtlosen und anderen nicht-ionisierenden EMF untersuchten, eine Reihe von nachteiligen Auswirkungen auf die Schwangerschaftsergebnisse sowie auf die Gesundheit der Nachkommen festgestellt, die regelmäßig EMF oder EMF/RF ausgesetzt sind.

Mehrere Studien eines Teams von Kaiser Permanente unter der Leitung von Dr. De Kun Li berichten über eine Reihe von Auswirkungen auf die Schwangerschaft und die Nachkommen. Sie maßen die Exposition schwangerer Frauen gegenüber Magnetfeldern (MF) zu Beginn der Schwangerschaft mit einem EMDEX Lite Messgerät (Enertech Consultants Inc.), das die Magnetfeld (MF) - Exposition während 24 Stunden an einem typischen Tag misst, und führten ein detailliertes Tagebuch über die Aktivitäten, was den Forschern ermöglichte: (1) die Orte der täglichen Aktivitäten zu identifizieren (zu Hause, zu Hause im Bett, unterwegs, am Arbeitsplatz und andere); (2) zu überprüfen, ob die Aktivitäten einen typischen Tag widerspiegeln; und (3) zu untersuchen, ob Orte und Aktivitäten mit einer hohen MF-Exposition verbunden waren. Die Frauen und ihre Nachkommen wurden über mehrere Jahre hinweg beobachtet. Nach Kontrolle zahlreicher anderer Faktoren fanden sie heraus, dass Frauen, die höheren MF-Werten ausgesetzt waren, ein 2,7-fach höheres Risiko für eine Fehlgeburt hatten als Frauen mit geringerer MF-Exposition - ein Ergebnis, das frühere Forschungsarbeiten desselben Teams bestätigte.<sup>114</sup> Spätere Veröffentlichungen fanden außerdem heraus, dass eine höhere MF-Exposition in utero mit Fettleibigkeit, Asthma und ADHS in der Kindheit in Verbindung steht.<sup>115, 116, 117</sup>

Ähnlich angelegte Untersuchungen<sup>118</sup>, bei denen die MF-Belastung mit dem EMDEX-Messgerät gemessen wurde, ergaben ein geringeres Nervenvolumen und eine geringere Knospenlänge, was per Ultraschall gemessen wurde, bei Embryonen

von Frauen mit höherer Exposition durch EMF am Arbeitsplatz oder in anderen Bereichen, die in den ersten drei Monaten einen induzierten Schwangerschaftsabbruch bei ungewollten Schwangerschaften vornehmen ließen. Frauen im obersten Quartil der MF-Belastung hatten ein vierfach erhöhtes Risiko für eine kürzere embryonale Knospenlänge als Frauen im untersten Quartil.

*Die gewohnheitsmäßig intensivere Nutzung mobiler Geräte durch die Mutter war mit einer geringeren Erholung beim Säugling nach der Wiedervereinigung (mit der Mutter) assoziiert.<sup>119</sup>*

## Verhalten und Kognition bei Kindern und Jugendlichen, die durch Mobiltelefone beeinträchtigt werden

Forscher der University of California School of Public Health in Los Angeles veröffentlichten zwei Studien, 2008 (13.159 Kinder)<sup>120</sup> und 2012 (28.745 Kinder)<sup>121</sup>, in denen festgestellt wurde, dass die pränatale - und in geringerem Maße auch die postnatale - Exposition gegenüber Mobiltelefonen verbunden war mit Verhaltensauffälligkeiten wie emotionalen und Hyperaktivitätsproblemen im Alter des Schuleintritts. Obwohl kleinere Studien keinen Zusammenhang gefunden haben, berichtete 2017 die bisher größte Studie mit 83.884 Mutter-Kind-Paaren, dass in den fünf Kohorten eine hohe pränatale Handynutzung mit Hyperaktivität/Aufmerksamkeitsproblemen bei Kindern verbunden war, während nur ein geringes Risiko für irgendwelche Verhaltensprobleme bestand, wenn pränatal kein Handy genutzt wurde. Der Zusammenhang war innerhalb und zwischen diesen großen Kohorten ziemlich konsistent. Bei fast 40 % der Kohorte<sup>122</sup>, die während der Schwangerschaft keine Handynutzung angaben, war die Wahrscheinlichkeit, dass ihr Kind insgesamt Verhaltens- oder emotionale Probleme aufwies, deutlich geringer als bei denjenigen mit der höchsten angegebenen Handynutzung während der Schwangerschaft, bei denen 1,5-mal mehr solche Probleme bei ihren Kindern dokumentiert wurden.

*Jugendliche, die stets das Handy an eine Seite ihres Kopfes hielten, schnitten bei Tests, die die Gedächtnisleistungen in den am stärksten exponierten Hirnregionen maßen, schlechter ab.*

Die Autoren weisen darauf hin, dass die "Interpretation dieser Ergebnisse unklar ist, da unkontrollierte Störfaktoren sowohl die mütterliche Handynutzung als auch die Verhaltensprobleme der Kinder beeinflussen können". Wenn die Mütter selbst von einem gewohnheitsmäßig höheren Gebrauch von mobilen Geräten berichteten, war das mit einer geringeren Erholung des Kindes nach der Wiedervereinigung mit der Mutter verbunden.<sup>119</sup> Darüber hinaus berichteten zwei Studien mit übereinstimmender Deutlichkeit für einen Zusammenhang zwischen HF-Strahlung und einer geringeren Leistung des figuralen Gedächtnisses bei Heranwachsenden. Foerster et al.<sup>123</sup> bestätigten Schoeni et al.<sup>124</sup> in einer größeren Studienpopulation von 843 Jugendlichen. Jugendliche, die stets das Handy an eine Seite ihres Kopfes hielten, schnitten bei Tests, die die Gedächtnisfä-

higkeiten in den am stärksten exponierten Gehirnregionen maßgeblich, schlechter ab.

## Verhalten bei Tieren

Zusätzlich zu den Auswirkungen auf die Gehirnentwicklung haben prä- und postnatale EMF-Expositionen in zahlreichen Studien gezeigt, dass Mobiltelefonstrahlung eine Reihe von Lern-, Gedächtnis- und Verhaltensstörungen bei Nagetieren signifikant beeinflusst.<sup>125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136</sup> So zeigten Aldad et al., dass die pränatale Exposition gegenüber konventioneller Handystrahlung während der Schwangerschaft zu Gedächtnisstörungen und hyperaktivem Verhalten sowie zu einer veränderten neuronalen Entwicklungsprogrammierung und glutamatergisch-synaptischen Übertragung auf Pyramidalneuronen des präfrontalen Kortex führte. Fragoupoulou und Margaritis wiesen in mehreren Studien nach, dass strahlenexponierte Tiere bei mehreren Standard-Lernmethoden schlechtere Leistungen erbringen. Anhand des Standard-Morris-Wasserlabyrinth-Tests für das vom Hippocampus abhängige räumliche Gedächtnis zeigten sie, dass eine nur 2-stündige Exposition pro Tag bei gepulsten nicht-thermischen Handysignalen von 900 MHz zu signifikanten Leistungsdefiziten bei den exponierten Tieren führte. Außerdem zeigten scheinexponierte Tiere die erwartete Präferenz für den Ziel-Quadranten, während exponierte Tiere keine Präferenz zeigten. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die durch HF-Strahlung exponierten Mäuse Defizite in ihrer Fähigkeit hatten, gelernte räumliche Informationen zu konsolidieren und/oder abzurufen.

**M**äuse, die während der Trächtigkeit pränatal der Handystrahlung von Mobiltelefonen (800-1900 MHz) ausgesetzt waren, zeigten Verhaltens- und neurophysiologische Veränderungen, die bis ins Erwachsenenalter anhielten.

Trotz dieser und zahlreichen anderen Studien, die nicht-thermische Auswirkungen von HF-Strahlung nachweisen, lehnen Gremien, die Standards festlegen, wie IEEE und ICNIRP generell Experimente ab, die handelsübliche Sendegeräte (Mobiltelefone, WLAN-Router) in ihren Studien verwenden, und zwar mit dem Argument, dass die genauen Expositionen nicht angemessen quantifizierbar sind. In der Tat ist es so, dass reale Geräte ständig wechselnde Signale und unregelmäßige Pulsationsmuster aussenden. Sie sind bioaktiver als die, die durch kontrollierte Laborsimulationen erzeugt werden können.<sup>137</sup> Eine Reihe anderer Expertengruppen, darunter ICBE-EMF und OR-SAA, behaupten, dass die Verwendung realer Handys und Geräte in kontrollierten Studien mit abgeschirmten Systemen wichtige Ergebnisse liefern kann, die realistischer sind als die, die durch andere Mittel erreicht werden. Tatsächlich zeigen experimentelle Studien, in denen echte Mobiltelefone verwendet werden, ziemlich konsistent schädliche Wirkungen.<sup>138</sup> Aldad und Kollegen<sup>139</sup> haben zum Beispiel nachgewiesen, dass pränatale Exposition gegenüber HF-Strahlung von einem in Betrieb befindlichen Handy das Verhalten der Nachkommen deutlich verändert.

Die pränatal exponierten Mäuse waren hyperaktiver, hatten ein schlechteres Gedächtnis und eine geringere Ängstlichkeit. Die Ergebnisse zeigten außerdem eine Beeinträchtigung der glutamatergen (auf Glutamat reagierend) synaptischen Übertragung zwischen den Pyramidenzellen im präfrontalen Kortex, die mit diesen Verhaltensänderungen einherging, was auf einen Me-

chanismus hindeutet, durch den diese Expositionen zu einer erhöhten Prävalenz von neurologischen Verhaltensstörungen führen könnten. Es gab einen signifikanten Trend bei den Gruppen, die 0, 9, 15 und 24 Stunden/Tag behandelt wurden: Es zeigte sich, dass die Anzeichen von Schäden in direktem Verhältnis zur Dauer der Exposition der Tiere zunahm. Mäuse, die während der Trächtigkeit pränatal der Strahlung von Mobiltelefonen (800-1900 MHz) ausgesetzt waren, wiesen Verhaltens- und neurophysiologische Veränderungen auf, die bis ins Erwachsenenalter andauerten.

In einem anderen Beispiel setzte Broom Mäuse von der späten Trächtigkeit (Trächtigkeitstag 13,5) bis zur Entwöhnung (21. postnataler Tag) nicht-thermischen Intensitäten eines 1846 MHz-Downlink aus und beobachtete 28 Tage alte Nachkommen. Sie fanden signifikante Auswirkungen sowohl auf das Essverhalten als auch auf die Aktivität und kamen zu dem Schluss, dass eine wiederholte Exposition gegenüber schwacher HF-Strahlung im frühen Leben anhaltende und langfristige Auswirkungen auf das Verhalten von Erwachsenen haben kann.<sup>140</sup>

Nachdem sie festgestellt hatten, dass die Strahlenbelastung durch Mobiltelefone das räumliche Gedächtnis von Mäusen beeinträchtigt, führten Forscher der Abteilung für Zellbiologie und Biophysik an der Universität Athen, Griechenland, Experimente durch, in denen sie die Reaktionen des Gehirnproteoms von Mäusen nach einer Ganzkörperexposition durch Mobiltelefone oder drahtlose DECT-Basisstationen untersuchten.<sup>141</sup> Sie fanden heraus, dass die Langzeitbestrahlung durch beide Quellen die Expression von insgesamt 143 Proteinen in kritischen Hirnregionen wie dem Hippocampus, dem Kleinhirn und dem Frontallappen signifikant veränderte. Sie vermuteten, dass diese "unterexprimierten" oder "überexprimierten" Proteine nach EMF-Expositionen eine Rolle bei den kurz- oder langfristigen Wirkungen von HF-Strahlung spielen könnten, die beim Menschen als Folge der Exposition durch Mobiltelefone beobachtet wurden, einschließlich Gedächtnisstörungen, Kopfschmerzen, Schlafstörungen und Hirntumoren.

**D**ie Exposition von Mäusen gegenüber Mobilfunkstrahlung bei Werten, die weit unter den zulässigen ICNIRP-Grenzwerten für die Exposition des menschlichen Kopfes liegen (SAR 2 W/kg), führte zu Veränderungen des Lipidoms und des Transkriptoms des Hippocampus, die den Veränderungen des Hirnproteoms und den Gedächtnisdefiziten zugrunde liegen könnten.

So zeigten Fragoupoulou et al., dass Handystrahlung (SAR 0,022 -0,366 W/kg), die deutlich unter den ICNIRP-Grenzwerten für die Exposition des menschlichen Kopfes liegt, aber mit den SAR-Werten vergleichbar ist, die in menschlichen Hirnregionen erzeugt werden, einerseits einen erheblichen Phospholipid-Fettsäure-Umbau im Gehirn induziert und andererseits die Expression von Genen verändert, die am Lipidstoffwechsel beteiligt sind. Es wird angenommen, dass diese Mechanismen für die von dieser Gruppe berichteten Gedächtnisdefizite verantwortlich sind.<sup>142</sup> Bei Mäusen, die Mobilfunkstrahlung bei Werten ausgesetzt waren, die weit unter den zulässigen ICNIRP-Grenzwerten für die Exposition des menschlichen Kopfes liegen, wurden Lipidom- und Transkriptomveränderungen im Hippocampus induziert, die den Veränderungen des Gehirnproteoms und den Gedächtnisdefiziten zugrunde liegen könnten.

## Karzinogenität

Im Jahr 2011 stuft die WHO/IARC drahtlose Hochfrequenzstrahlung als "mögliches" Karzinogen der Klasse 2B ein, vor allem aufgrund von Studien mit starken Handynutzern, bei denen ein erhöhtes Risiko für Glioblastom-Gehirntumore und Akustikusneurinome festgestellt wurde, sowie aufgrund einiger experimenteller Daten mit Tieren. Zuvor, im Jahr 2002, wurden ELF-Magnetfelder ebenfalls als mögliches Karzinogen der Gruppe 2B eingestuft, und zwar aufgrund von Studien, die einen Zusammenhang zwischen Magnetfeldexposition in Wohngebieten und Leukämie bei Kindern herstellten.<sup>143</sup> Dieser Zusammenhang wird weiterhin beobachtet.<sup>144,145</sup>

Seit der Einstufung durch die WHO/IARC im Jahr 2011 wurden mehrere große Tierstudien<sup>71,146, 147, 148</sup> und Fall-Kontroll-Studien beim Menschen<sup>149, 150, 151, 152</sup> zur Karzinogenität veröffentlicht, die HF-Strahlung mit Krebs in Verbindung bringen. Eine systematische Überprüfung und Meta-Analyse<sup>153</sup> von Fall-Kontroll-Studien aus dem Jahr 2020 ergab, dass 1.000 oder mehr Stunden Mobiltelefonnutzung oder etwa 17 Minuten pro Tag über 10 Jahre hinweg mit einem statistisch signifikanten Anstieg des Tumorrisikos verbunden waren.

## Experimenteller Nachweis der Karzinogenität

*Jeder Stoff, der nachweislich beim Menschen Krebs verursacht, verursacht auch bei Tieren Krebs, wenn er angemessen getestet wird.*

Der internationale Goldstandard für Karzinogenitätsstudien an Nagetieren wurde vom US-amerikanischen National Toxicology Program (NTP) entwickelt, einem von mehreren großen Bundesbehörden (NIH, CDC, FDA) unterstützten Programm, das transparente Studien durchführt. Bis heute hat das NTP mehr als 600 verschiedene physikalische und chemische Stoffe unter sorgfältig kontrollierten Bedingungen auf ihr Potenzial untersucht, ob sie bei Tieren Krebs verursachen. Jeder Stoff, der nachweislich beim Menschen Krebs verursacht, verursacht auch bei Tieren Krebs, wenn er angemessen getestet wird - so die Internationale Agentur für Krebsforschung, IARC.

Im Jahr 2018 veröffentlichte das NTP die Ergebnisse seiner groß angelegten Nagetierstudien zur Handystrahlung, bei denen nicht-thermische HF-Intensitäten verwendet wurden, um die Exposition durch Mobiltelefone zu imitieren. Besonders relevant für die Pädiatrie und die langfristigen Auswirkungen auf den Menschen ist die Erkenntnis, dass die Nagetiere, die vorgeburtlich HF-Strahlung ausgesetzt waren, im Vergleich zu nicht exponierten Tieren ein deutlich geringeres Geburtsgewicht hatten. Dieser Befund ist ein wichtiges Signal dafür, dass nicht-thermische Strahlungsintensitäten die Entwicklung beeinträchtigen können, da ein niedriges Geburtsgewicht als wichtiger lebenslanger Risikofaktor für die Gesundheit von Erwachsenen gilt.

Die NTP-Studie berichtete auch über erhöhte DNA-Schäden<sup>71</sup> sowohl bei Mäusen als auch bei Ratten und die Induktion von Kardiomyopathie der rechten Herzkammer bei männlichen und weiblichen Ratten.<sup>147,148</sup> Bei ihrem Abschluss im Jahr 2018 war die NTP-Studie, die nach altbewährten Protokollen durchge-

führt wurde, der größte jemals durchgeführte Nagetier-Biotest zu Handystrahlung, der mit pränataler Exposition begann und nach 24 Monaten der Exposition endete. Kurz darauf veröffentlichte das Ramazzini-Institut<sup>146</sup>, das ähnlich kontrollierte Protokolle anwendet, seine Ergebnisse aus einer noch größeren Tierstudie mit 2448 Ratten, bei der sowohl ähnliche als auch niedrigere Expositionen verwendet wurden, die mit denen von Basisstationen sowie WLAN vergleichbar sind, und bei der die gleichen Arten von bösartigen Tumoren - Schwannome des Herzens - bei männlichen Ratten beobachtet wurden. Insgesamt liefern diese beiden groß angelegten Tierstudien zusammen mit den Daten vom Menschen<sup>153</sup> ziemlich starke Beweise für das Potenzial von nicht-thermischen Intensitäten von drahtloser Hochfrequenzstrahlung, Krebs beim Menschen zu verursachen.

*Das NTP stellte bei männlichen Ratten eine signifikante Zunahme der relativ seltenen und hochgradig bösartigen Schwannome des Herzens und der Gliome fest. Bei diesen Tumorarten handelt es sich um denselben Histotyp, der in epidemiologischen Studien bei Langzeit-Handynutzern vermehrt festgestellt wurde.*

Gemäß den aktuellen Risikobewertungsrichtlinien ergab die Analyse der NTP- und Ramazzini-Daten, dass zum Schutz von Kindern die FCC-Grenzwerte der US-Regierung um das 200- bis 400-fache verschärft werden sollten, um mit anderen toxikologischen Bewertungen übereinzustimmen.<sup>154</sup>

## Krebsepidemiologie - Fall-Kontroll-Studien

In der multinationalen Interphone-Fall-Kontrollstudie<sup>155</sup> aus dem Jahr 2010 wurde ein Handynutzer als jemand definiert, der sechs Monate lang einen Anruf pro Woche tätigte. Diese Studie schloss keine Fälle aus den USA ein, wurde von der IARC geleitet und ergab kein erhöhtes Gesamtrisiko für Hirntumor bei Handynutzung, stellte aber fest, dass die stärksten Nutzer von Handys das größte Risiko hatten. Vermischung von Teilnehmern mit geringem Mobiltelefongebrauch mit denen mit dem stärksten Gebrauch verwässerte die Chancen, irgendeine Wirkung zu finden.

*Die derzeitigen U.S. Hochfrequenz-Expositionsstandards müssten um das 200- bis 400-Fache gesenkt werden, wenn sie mit den üblichen Methoden zur Risikobewertung für chemische und andere Gefahren übereinstimmen würden.*

Die Fall-Kontroll-Studie MOBI-Kids, an der 671 Hirntumorpatienten (von d.f. korrigierte Zahl, da im Original fehlerhaft angegeben) im Alter von 10 bis 24 Jahren teilnahmen, berichtete über die Nutzung von Mobiltelefonen; sie fand auch kein erhöhtes Gesamtrisiko für Hirntumore in der Altersgruppe, die zwischen 2010 und 2015 diagnostiziert wurde. Es ist bekannt, dass die Latenzzeit für Hirntumore bei Erwachsenen bis zu vier Jahrzehnte beträgt; bei Kindern wird sie vermutlich kürzer sein. (Anm.: im Original verweist der Text wahrscheinlich auf die CE-FALO-Studie, die im Zusammenhang mit der MOBI-Kids-Studie eine missverständliche Information liefert. Deshalb wurden zwei Passagen ausgelassen). Obwohl kein erhöhtes Gesamtrisiko für Hirntumore in der Schläfenregion dieser jungen Fälle berichtet

wurde, wurde ein erhöhtes Risiko in der Altersgruppe 20-24 Jahre gefunden – eine Altersgruppe, die lange genug gelebt hatte, um einer größeren Exposition ausgesetzt gewesen zu sein als die jüngeren Kinder, die in diese Studie einbezogen wurden.

Die Forscher, die die kanadische MOBI-Kids-Kohorte untersuchten, führten eine ausgefeilte statistische Modellierung durch, bei der auch potenzielle Quellen für Verzerrungen und probabilistische Methoden berücksichtigt wurden, und fanden keine eindeutigen Beweise für einen Zusammenhang zwischen der berichteten Handynutzung und Meningeomen, Akustikusneurinomen oder Ohrspeicheldrüsentumoren (Tumoren, die plausibel mit Handystrahlung in Verbindung gebracht werden), stellten aber einen signifikanten Zusammenhang mit Gliomen fest.

**T**rotz erheblicher Einschränkungen im Design berichtet die MOBI-Kids-Studie über die Nutzung von Mobiltelefonen bei kanadischen Kindern über ein verdoppeltes Risiko für Glioblastoma multiforme durch die Nutzung von Mobiltelefonen, ein Risiko, das eine ernüchternde Botschaft für diejenigen sein sollte, die versuchen, das Auftreten einer solchen Krankheit von vorneherein zu vermeiden.

Vergleicht man das höchste Quartil der Handy-Nutzung (>558 Stunden im Leben) mit denjenigen, die das Handy nicht regelmäßig nutzen, so ergibt sich für das Gliom bei den kanadischen Kindern, die an MOBI-Kids teilgenommen haben, ein Odds Ratio von 2,0 (95 % Konfidenzintervall: 1,2 bis 3,4). Nach Bereinigung um Auswahl- und Erinnerungsfehler lag das Odds Ratio bei 2,2 (95 % Konfidenzintervall: 1,3 bis 4,1). Die MOBI-Kids-Studie zur Handynutzung bei kanadischen Kindern wies trotz erheblicher Einschränkungen im Design ein verdoppeltes Risiko für Glioblastoma multiforme durch die Nutzung von Mobiltelefonen auf. Dieses Risiko sollte eine klärende Botschaft für diejenigen sein, die versuchen, das Auftreten solcher Krankheiten von vorneherein zu vermeiden. Neuere Fall-Kontroll-Studien über Gliome bei Erwachsenen in Schweden<sup>157</sup> und Frankreich<sup>149</sup> sowie systematische Analysen, die Daten über erwachsene Handynutzer in China zusammenfassen, zeigen, dass eine 10-jährige oder längere Handynutzung signifikant mit einem erhöhten Risiko für Glioblastome verbunden ist, wobei eine 20-jährige Exposition zu einem mehr als doppelt so hohen Risiko führt. Bei Analysen kürzerer Expositionen, wie sie in der Interphone-Studie vorherrschten, wurde kein derartiger Zusammenhang festgestellt, was darauf hindeutet, dass es für das Glioblastom eine Latenzzeit von 10 Jahren oder mehr gibt. In den wenigen Studien, die längerfristige Nutzer beobachtet haben, wurde festgestellt, dass eine höhere Anzahl von Nutzungsstunden und eine längere Nutzungsdauer mit einem um 40 % bis über 200 % erhöhten Glioblastom-Risiko verbunden sind.

*In den wenigen Studien, in denen Langzeitkonsumenten beobachtet wurden, wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen mehr Konsumstunden und längeren Konsumzeiträumen und einem um 40 % bis über 200 % erhöhten Glioblastom-Risiko festgestellt.*

## Krebspidemiologie - Kohortenstudien

Im Gegensatz zu Fallkontrollstudien werden die britische 'Million'-Woman-Kohortenstudie und die dänische Kohortenstudie häufig als Beweis dafür angeführt, dass es keinen Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Hirnkrebs gibt. Beide wurden wegen schwerwiegender Mängel heftig kritisiert. In der britischen Kohortenstudie mit fast 800.000 älteren Frauen in den Wechseljahren telefonierten beispielsweise nur 18 % der Handynutzer<sup>158</sup> 30 oder mehr Minuten pro Woche, wie sie selbst von 2001 bis 2011 berichteten. Die britische Studie fasste jedoch leichte und regelmäßige Handynutzer in einer einzigen Kategorie zusammen und verglich sie mit denjenigen, die angaben, kein Handy zu benutzen. Mehr als 80 % der britischen Haushalte hatten während des Studienzeitraums einen Festnetzanschluss. Es ist wahrscheinlich, dass viele in dieser Kohorte auch schnurlose Telefone benutzten, dennoch wurde diese bedeutende zusätzliche Quelle von RF nicht bewertet. Tatsächlich räumen die Autoren der britischen Kohorte ein<sup>159</sup>, dass ihre Studie nicht in der Lage war, die Risiken zu bewerten, die mit einer wesentlich höheren Exposition verbunden sind. Folglich stellen die Autoren fest: "Die Beratung von Vielnutzern, wie sie unnötige Expositionen reduzieren können, bleibt ein guter Vorsorgeansatz".

Andere Krebsarten, die in epidemiologischen Studien plausibel mit Handystrahlung in Verbindung gebracht werden, sind Schilddrüsenkrebs, Brustkrebs im Frühstadium, Darmkrebs im Frühstadium und Hodenkrebs. Bei einer bestimmten Untergruppe von Personen mit einer gemeinsamen genetischen Anfälligkeit ist die intensive Nutzung von Mobiltelefonen mit einem signifikant verdoppelten Risiko für Schilddrüsenkrebs verbunden.<sup>69</sup> Seit dem Aufkommen von Smartphones im Jahr 2010 befinden sich die Handyantennen in der Regel an der Unterseite der Handys. Folglich ist es wahrscheinlicher, dass die Spitzenbelastung durch HF-Strahlung wahrscheinlich eher im Nacken als im Gehirn auftritt.<sup>160</sup> Smartphones enthalten mehrere verschiedene Antennen, von denen jede HF-Strahlung senden und empfangen kann. Darüber hinaus haben Frauen, die Handys in ihren BHs oder Vocera-Geräte (siehe (<https://www.vocera.com/products/compare-devices>)) an der Brust trugen, ungewöhnliche Brustkrebsmuster entwickelt, wobei Tumore manchmal genau unter den Bereichen auftraten, in denen sich ihre Handyantennen befanden.<sup>161,162</sup>

Wenn die Kriterien, auf die sich die WHO/IARC bei der Bestimmung der Karzinogenität stützte, auf den aktuellen Stand der Wissenschaft angewandt würden, würde dies zu einer Einstufung der Handystrahlung als wahrscheinliches Karzinogen (Gruppe 2A) oder nachgewiesenes Karzinogen (Gruppe 1) für den Menschen führen<sup>7,8,16,163, 164, 165, 166, 167</sup>, zu diesem Schluss kommen mehrere unabhängige Analysen, die seit der ursprünglichen IARC-Bewertung im Jahr 2011 veröffentlicht wurden.

## Ungeklärter Anstieg von Krebserkrankungen bei Kindern und jungen Erwachsenen steht im Einklang mit der zunehmenden Exposition gegenüber Mobilfunkstrahlung

Trends bei Krebserkrankungen können Hinweise auf zugrundeliegende ursächliche Faktoren liefern, wie dies bei der Zunahme von Lungenkrebs bei männlichen und weiblichen Rauchern in

der Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts und bei der Zunahme des seltenen klarzelligen Adenokarzinoms des Gebärmutterhalsses bei jungen Frauen der Fall war, deren Mütter Diethylstilbestrol zur Verhinderung von Fehlgeburten eingenommen hatten.<sup>168</sup>

Krebserkrankungen haben in der Regel mehrere Ursachen, die im Laufe der Zeit schwanken können. In den letzten Jahrzehnten hat die Inzidenz verschiedener Krebsarten, die bei Erwachsenen<sup>169</sup> unter 50 Jahren früh auftreten, in vielen Ländern zugenommen, darunter Brust-, Dickdarm-, Knochenmark- und Schilddrüsenkrebs. Auch wenn die Erklärungen für diese Muster sicherlich multifaktoriell sind, ist die drahtlose Strahlung einer der Faktoren, die eingehender untersucht werden sollten.

Die Raten von Rektumkarzinomen haben sich bei den unter 24-Jährigen in den letzten zehn Jahren in den USA und im Iran vervierfacht und sind in Großbritannien, Ägypten und Brasilien rapide angestiegen<sup>170</sup>. In einer aktuellen Studie<sup>171</sup> wird behauptet, dass dieser Anstieg zum Teil mit radikalen Veränderungen in der Strahlenbelastung durch Mobiltelefone zusammenhängen könnte, da die Geräte über längere Zeit in Körpernähe gehalten werden. Immer mehr Kinder und junge Erwachsene tragen ihre Smartphones mit den zahlreichen Antennen, über die ständig die Apps aktualisiert werden, stundenlang neben ihrem Bauch in ihrer engen Kleidung, zusammen mit einem drahtlosen Stöpsel im Ohr. So hat zwar das direkte Sprechen in Smartphones abgenommen, nicht aber die unmittelbare Nähe zu deren Strahlung.

Was den möglichen Zusammenhang zwischen der Zunahme von Darmkrebs und der Exposition gegenüber Mobiltelefonen besonders plausibel macht, ist eine experimentelle Studie, die zeigt, dass Dickdarm- und Mastdarmzellen besonders empfindlich auf nicht-ionisierende Strahlung reagieren, wie sie heute von Mobiltelefonen abgegeben wird. Darüber hinaus kann die Exposition gegenüber nicht-ionisierender Handystrahlung zu ähnlichen Auswirkungen auf das behandelte Dickdarmgewebe von Ratten führen, wie dies bei ionisierender 3 Gy-Gammastrahlung der Fall ist. Mokarram et al.<sup>172</sup> berichteten, dass die epigenetischen Muster des Östrogenrezeptors (ER $\alpha$ ) nach Exposition mit ionisierender Strahlung denjenigen entsprechen, die nach Exposition mit nicht-ionisierender HF-Strahlung auftreten. Unter Verwendung von Biomarkern, die zuvor als Signalgeber für schädliche Expositionen etabliert wurden, fanden sie ferner heraus, dass Methylierungsmuster einen wichtigen validierten Biomarker für die Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung darstellen könnten, der das Potenzial hat, eine Rolle bei der Ausprägung und Förderung von Darmkrebs zu spielen.<sup>172</sup>

## EMF als endokrine Disruptoren

Unter endokrinen Disruptoren versteht man natürliche oder künstlich hergestellte Stoffe, die die körpereigenen Hormone nachahmen oder beeinflussen und die Entwicklung stören können, was zu einer Reihe von Entwicklungs-, Reproduktions-, neurologischen und Immunproblemen sowie zu Krebs führen kann. Häufige Quellen sind Kunststoffe, Metaldosen, Waschmittel, Flammschutzmittel und Pestizide.

EMF-Expositionen werden mit einer Reihe klassischer endokriner Störungen in Verbindung gebracht.

Ein Team des California Institute of Behavioral Neurosciences & Psychology untersuchte die Auswirkungen<sup>173</sup> von HF-Strahlung

und ELF auf die Schilddrüsenhormone und die Histopathologie und fand Beweise dafür, dass HF-Strahlung mit Veränderungen des T3-, T4- und TSH-Hormonspiegels, einer Störung der Funktion der HPG-Achse, die zu einer Schilddrüseninsuffizienz führt, und einer Überstimulation der Schilddrüsenfollikel verbunden ist. Dies führte zur Apoptose der Follikelzellen. Nicht-ionisierende Strahlung wurde signifikant mit histopathologischen Veränderungen in den Schilddrüsenfollikeln in Verbindung gebracht, und die Autoren vermuten, dass nicht-ionisierende EMF-Strahlung für die jüngste Zunahme von Schilddrüseninsuffizienz und -krebs in der Allgemeinbevölkerung verantwortlich sein könnte.

Es müssen kritische Untersuchungen durchgeführt werden, um die Auswirkungen insbesondere auf künftige Generationen zu verstehen. Über vier Generationen untersuchten Cantürk et al.<sup>174</sup> die Auswirkungen von prä- und postnataler 2450 MHz Hochfrequenzstrahlung auf die Thymusdrüse von Ratten; sie stellten fest, dass die Anzahl der Welpen und das Gewicht aller Ratten in der dritten Generation signifikant abnahmen.

*H*F-Strahlung weist alle klassischen Merkmale endokriner Disruptoren auf, die sich auf die Fortpflanzung und die Entwicklung der Hypothalamus-Hypophysen-Gonaden-Achse (HPG) auswirken und die normale männliche und weibliche Fortpflanzung verändern.

So hat es den Anschein, dass nicht-ionisierende<sup>175</sup> Veränderungen in der Spermatogenese und der Oogenese wiederum eine Reihe von endokrinologischen und anderen Funktionen während des gesamten Lebens beeinflussen, einschließlich der Fruchtbarkeit und des Verhaltens der Nachkommen sowie des Risikos von Krebs, neurologischen Störungen und anderen chronischen Krankheiten.

## Tierstudien zu additiven oder synergistischen Wirkungen von HF-Strahlung mit anderen Wirkstoffen

Wiederholte Experimente zeigen, dass Hochfrequenzstrahlung erhebliche kokarzinogene und tumorfördernde Auswirkungen haben kann, wenn sie mit bekannten Karzinogenen kombiniert wird. Lerchl et al.<sup>152</sup> fanden heraus, dass die karzinogen-induzierten Tumorraten bei Mäusen, die nicht-thermischen Hochfrequenzdosen unterhalb der derzeitigen Grenzwerte ausgesetzt waren, signifikant höher waren. Die Autoren argumentierten, dass dies ein "sehr deutlicher Hinweis darauf ist, dass im Prinzip tumorfördernde Wirkungen einer lebenslangen HF-Exposition auftreten können, bei Werten, die angeblich zu niedrig sind, um thermische Wirkungen zu verursachen".

Das Ramazzini-Institut führte zwei große lebenslange Krebsstudien<sup>176</sup> an Ratten durch, in denen Magnetfelder von nicht-ionisierenden EMF entweder mit einer akuten Exposition gegenüber Gammastrahlung oder einer chronischen Exposition gegenüber Formaldehyd im Trinkwasser kombiniert wurden, und stellte fest, dass die Inzidenz bösartiger Tumore bei beiden Koexpositionen signifikant höher ist als ohne solche kombinierten Expositionen.

Forscher des Beijing Institute of Radiation Medicine in China haben ebenfalls wichtige Beweise für synergistische Effekte erbracht. Sie stellten fest, dass die Kombination von 2,8-GHz-

und 1,5-GHz-Mikrowellen<sup>177</sup> das räumliche Gedächtnis viel stärker beeinträchtigt als die Exposition bei einer einzelnen Frequenz. Es ist wichtig zu wissen, dass solche kombinierten Frequenzen derzeit leicht in einem einzigen Smartphone vorkommen können, das gleichzeitig auf verschiedenen Frequenzen arbeiten kann. Dasselbe Team hat berichtet<sup>178</sup>, dass die Exposition gegenüber nicht-thermischen Werten von 2,8 GHz und 9,3 GHz - wie sie bei 5G-Netzen auftreten könnten - zu erheblichen Auswirkungen auf Thymus und Milz, wie Stauung und Kernfragmentierung der Lymphozyten, und in der Folge zu schwereren Schäden führte. Ihre transkriptomische und proteomische Analyse von peripherem Blut und Milz deutet darauf hin, dass Veränderungen der DNA-Replikation, des zellulären Stoffwechsels und der Signaltransduktion an der Mikrowellen-induzierten Immunaktivierung beteiligt sein könnten. Die Milz filtert nicht nur Krankheitserreger und Antigene aus dem Blut, sondern spielt auch eine wichtige Rolle bei der Regulierung des Immunsystems.

## Auswirkungen von Bildschirmzeit

Ein höheres Maß an Bildschirmzeit<sup>179</sup>, der Zugang zu sozialen Medien<sup>180</sup> und die Nutzung von Mobiltelefonen in den Schlafzimmern von Teenagern werden mit einer verkürzten Schlafdauer<sup>181</sup> sowie negativen Auswirkungen auf das tägliche Funktionieren<sup>180</sup>, das Verhalten<sup>182</sup> und die Stimmung in Verbindung gebracht. Es gibt immer mehr Belege<sup>183</sup> dafür, dass die süchtige und exzessive Nutzung von Bildschirmen und digitalen Medien durch Kinder<sup>184</sup> mit einer Vielzahl negativer sozialer (Beziehungen, soziale Fähigkeiten, Cybermobbing), psychologischer (Angst, Depression, Selbstmordgedanken, Zwangsstörungen<sup>185</sup>), neurologischer (kognitive Entwicklung, Verhalten, Aufmerksamkeit, Sprache<sup>186</sup>) und körperlicher (Fettleibigkeit, Bluthochdruck) Folgen verbunden ist. Zu den Schlüsselfaktoren<sup>187</sup>, die die Auswirkungen der Bildschirmzeit bestimmen, gehören die Dauer, der Inhalt, die Art der Medien, der Grad des Zugangs zu sozialen Medien, die Frage, ob sich die Bildschirme im Schlafzimmer befinden<sup>180</sup> und der Umfang der Nutzung nach Einbruch der Dunkelheit bzw. des Abends.<sup>180,187</sup>

**E**in höheres Maß an Bildschirmzeit,<sup>179</sup> Zugang zu sozialen Medien<sup>180</sup> und Nutzung von Mobiltelefonen in den Schlafzimmern von Teenagern steht in Verbindung mit einer geringeren Schlafdauer<sup>181</sup> sowie negativen Auswirkungen auf das tägliche Funktionieren<sup>180</sup>, Verhalten<sup>182</sup> und die Stimmung.

Axelsson et al.<sup>188</sup> fanden heraus, dass die Zeit, die mit Bildschirmen verbracht wird, bei Vorschulkindern einen kürzeren Schlaf vorherbestimmt. Unabhängig von der Tageszeit, zu der die Kinder auf Bildschirme zugreifen, wurde eine längere Bildschirmzeit mit einer schlechteren Schlafqualität, schlechter Kommunikation, schlechter Problemlösung und größeren Aufmerksamkeitsproblemen in Verbindung gebracht. Die American Academy of Pediatrics (AAP) stellt fest<sup>184</sup>, "die Prävalenz der problematischen Internetnutzung von Kindern und Jugendlichen liegt zwischen 4 und 8 %." Der diagnostische Code ist im DSM-5<sup>189</sup> und in der 11. Revision der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-11<sup>6</sup>) enthalten und signalisiert eine Beeinträchtigung der Sozialisation, einschließlich der Störung wichtiger Lebensbereiche wie familiäre Beziehungen, Schule, Arbeit, Essen, Badezimmergewohnheiten und Schlaf. Die WHO nennt in ihren Kriterien für die Spielstörung keine bestimmte Anzahl von Stunden, die vor Bildschirmen verbracht werden,

sondern konzentriert sich auf die Unfähigkeit, sich am normalen sozialen Leben von Kindern und Jugendlichen zu beteiligen, einschließlich Aktivitäten im Freien sowie soziale Kontakte in der Familie und in der Schule. Die Kategorie der Internet-Spielstörung wurde 2019 hinzugefügt. Laut Pew<sup>190</sup> spielen 97 % der Jungen und 83 % der Mädchen im Teenageralter Spiele auf irgendeinem Gerät. Wie viele von ihnen süchtig sind, sollte ernsthaft untersucht werden, da der Schaden für die geistige und körperliche Gesundheit von Kindern immer größer wird.

**B**is zu 8,5 % der US-amerikanischen Jugendlichen im Alter von 8 bis 18 Jahren und 4,6 % der chinesischen Jugendlichen erfüllen die Kriterien für eine Internet-Spielstörung, die von der Weltgesundheitsorganisation in ihrem Standardwerk *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders-Fifth Edition (DSM-5)* als ein unkontrollierbares, anhaltendes Bedürfnis definiert wird, sich direkt mit digitalen Medien und Spielen zu beschäftigen, das nicht gestoppt werden kann.

Eine höhere Bildschirmzeit wurde mit einer höheren Prävalenz von voraussehbaren Verhaltensstörungen in Verbindung gebracht.<sup>191</sup> Kliniker<sup>187,192</sup> gehen davon aus, dass die Auswirkungen der elektronischen Bildschirmzeit psychiatrische Störungen nachahmen oder verschlimmern können, da die interaktiven Medien zu chronisch hohen Erregungsniveaus führen können, die zu einer Dysregulation des Nervensystems führen können. Infolgedessen haben behandelnde Ärzte Therapien entwickelt, zu denen auch ein "elektronisches Fasten" gehört, um das Gehirn wieder ins Gleichgewicht zu bringen und überreizte Belohnungs- (Sucht-) und Sinneskanäle zu entlasten. Es hat sich gezeigt, dass Interventionen wie die Reduzierung der Bildschirmmedien zu einer erheblichen Steigerung der körperlichen Aktivität von Kindern führen<sup>193</sup> und dass mehr Zeit im Freien, im Grünen<sup>194</sup> sich positiv auf die psychische Gesundheit auswirkt und die Häufigkeit von Kurzsichtigkeit<sup>195</sup> bei Kindern im Schulalter verringert.<sup>196</sup>

## Technofrenz trägt zu Sprach- und Bindungsverzögerungen bei

Studien<sup>116</sup> über Elternpaare von Kleinkindern ergaben, dass eine häufigere Nutzung von Mobilgeräten mit einer reduzierten Raumerkundung, geringeren positiven Affekten sowie einer schwächeren Erholung (d. h. Bindung an die Mutter, Erkundung des Raums und positive Affekte) der Kinder verbunden war, selbst wenn individuelle Unterschiede im Temperament berücksichtigt wurden. Verzögerungen beim Spracherwerb<sup>197</sup> und bei der Entwicklung interaktiver Fähigkeiten wurden auch bei Säuglingen von Eltern festgestellt, die häufiger Geräte benutzen. Darüber hinaus wird dem Phänomen der *Technofrenz*<sup>198</sup> von Experten der Verhaltens- und Entwicklungspsychologie zunehmend Aufmerksamkeit geschenkt. Die intensive Nutzung digitaler Technologien durch die Eltern wurde mit suboptimalen Eltern-Kind-Interaktionen in Verbindung gebracht. Die problematische elterliche Technologienutzung - auch als "Technofrenz" bezeichnet - wird mit technologiebedingten Unterbrechungen der Eltern-Kind-Interaktionen in Verbindung gebracht und steht möglicherweise mit einer Reihe von Verhaltensproblemen des Kindes in Zusammenhang. Die elterliche Ablenkung im frühen Kindesalter kann aus offensichtlichen Gründen problematisch sein. Dies ist nach wie vor ein Thema, dem die Forschung verstärkt Aufmerksamkeit

schenkt und das bei jeder Vorsorgeuntersuchung routinemäßig abgefragt werden sollte, und zwar vom Säuglingsalter bis zu den Schuljahren. Einfache Fragen, die im Folgenden aufgeführt sind, können die Grundlage für lehrreiche Momente bilden, die die Notwendigkeit einer direkten elterlichen Zuwendung in den frühen Jahren vermitteln, die sich lebenslang positiv auswirken. Gestresste junge Eltern, vor allem solche, die ihre Kinder ohne Partner großziehen, verlassen sich möglicherweise stark auf digitale Geräte als Form der Kinderbetreuung. Sie sollten über die Bedeutung des direkten Augen- und Sprachkontakts mit Kleinkindern sowie des Vorlesens ab dem Säuglingsalter aufgeklärt werden, da diese Praktiken nachweislich lebenslange Vorteile für die soziale und emotionale Entwicklung haben.

**S**tudien<sup>120</sup> über Elternpaare von Kleinkindern ergaben, dass eine häufigere Nutzung von Mobilgeräten mit einer geringeren Erkundung des Raums und einem geringeren positiven Affekt sowie einer geringeren Erholung (d. h. Bindung an die Mutter, Erkundung des Raums und positiver Affekt) verbunden war, selbst wenn individuelle Unterschiede im Temperament berücksichtigt wurden. Verzögerungen beim Spracherwerb und bei der Entwicklung interaktiver Fähigkeiten wurden auch bei Säuglingen von Eltern festgestellt, die häufiger Geräte benutzen.

## Leitfaden für die klinische Praxis

Vermeidbare Umwelteinflüsse können die Entwicklung und die Gesundheit von Kindern erheblich beeinträchtigen und verändern. Neben den Vorteilen einer gesunden Ernährung und regelmäßiger körperlicher und sozialer Aktivität sind Ärzten die negativen Auswirkungen von Blei, Pestiziden, Lebensmittelzusatzstoffen, Luftverschmutzung, ultravioletter Strahlung und im weiteren Sinne des Klimawandels auf die Gesundheit von Kindern bekannt. Frühkindliche Belastungen können unverhältnismäßig große Auswirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden im späteren Leben haben.

Wie von der American Academy of Pediatrics (AAP) empfohlen, können Ärzte sowohl Entwicklungs- als auch EMF-Themen in ihre Praxis integrieren, indem sie regelmäßig über Bildschirmzeit und die Nutzung digitaler Medien sprechen. Die AAP-Leitlinien in Bezug auf Mobiltelefone und andere drahtlose Geräte sollten weit verbreitet und angewendet werden. Dazu gehören:

- Vermeiden Sie bei Kindern unter 18 Monaten bildschirmbasierte Medien mit Ausnahme von Videochats.
- Für Kinder im Alter von 18 bis 24 Monaten sollten Eltern hochwertige Programme auswählen und in begrenztem Umfang gemeinsam mit ihren Kindern ansehen.
- Kinder zwischen 2 und 5 Jahren sollten nicht mehr als eine Stunde pro Tag mit hochwertigen Bildschirmmedien verbringen und mit den Kindern sollte über Inhalte und Erfahrungen gesprochen werden.
- Für Kinder ab 6 Jahren sollten Sie die Zeit, die diese mit Medien verbringen, und die Art der Medien konsequent einschränken.

Die Erkenntnis, dass HF-Strahlung zu Krankheiten beitragen kann, ist ein weiterer Grund, klinische Praktiken einzubeziehen, wie zum Beispiel:

- Abfrage der Nutzung von Bildschirmen, digitalen Medien, Mobiltelefonen und mit WLAN verbundenen Geräten bei den jährlichen Vorsorgeuntersuchungen.
- Patienten und ihre Familien darüber zu informieren, wie sie die übermäßige Bildschirmnutzung und die Belastung durch Funkwellen reduzieren können (siehe Abschnitt 7).
- Reagieren Sie gegebenenfalls mit zusätzlichen Fragen, Ressourcen und Weiterempfehlungen, wenn Symptome gemeldet werden, die möglicherweise mit der Nutzung von Bildschirmen oder der Exposition gegenüber EMF zusammenhängen.
- Beteiligen Sie sich weiterhin an Fortbildung und Schulung zu EMF-Themen und Bildschirmnutzung.
- Erfassung und Meldung von Fällen, in denen ein Zusammenhang zwischen EMF und Symptomen oder gesundheitlichen Folgen festgestellt wurde.
- Ermutigen Sie zum ungestörten Vorlesen für Säuglinge und Kleinkinder und
- entwickeln Sie Familien-Medienpläne für Eltern und Kinder, in denen erklärt wird, dass die elterliche Ablenkung durch Geräte die kindliche Entwicklung einschließlich des Spracherwerbs beeinträchtigen kann.

Ärzte müssen auch in den Auswirkungen von EMF geschult werden, um erkennen zu können, ob häufige pädiatrische Beschwerden wie Kopfschmerzen und Schlafprobleme tatsächlich auf die übermäßige Nutzung von Bildschirmgeräten im häuslichen oder schulischen Umfeld zurückzuführen sind. Ärzte, die auf Patienten mit unerklärlichen Symptomen treffen, können das gesamte klinische Bild und die Krankengeschichte berücksichtigen und die allgemein anerkannten Ursachen untersuchen, gegebenenfalls behandeln oder ausschließen. Beispielsweise können Patienten mit unerklärlichen Symptomen wie Kopfschmerzen und Hautausschlägen in die Praxis kommen, die möglicherweise mit EMF zusammenhängen (z. B. mit Mobilfunkantennen, die kürzlich in der Nähe angebracht wurden, oder mit einem kürzlich installierten, verbesserten WLAN-System in der Schule). Kliniker müssen stärker sensibilisiert werden, damit sie bei der Differentialdiagnose die Möglichkeit in Betracht ziehen, dass die Symptome mit EMF in Verbindung stehen könnten, und den Patienten systematisch untersuchen. Klinische Praxisleitlinien für EHS wurden unter anderem von geschulten Klinikern und Experten<sup>199</sup>, der EUROPAEM-Gruppe<sup>200</sup>, Dr. Riina Bray, medizinische Direktorin der Environmental Health Clinic am Women's College Hospital der Universität Toronto<sup>201</sup> und der Österreichischen Ärztekammer<sup>202</sup> entwickelt.

### Die Leitlinien für die klinische Praxis umfassen:

- Umfassende Anamnese, die die Umweltexposition umfasst, einschließlich Fragen zur typischen täglichen EMF/HF-Exposition, zu toxischen Metallexpositionen, zur Ernährung, zu Schimmelpilzen und zu anderen potenziell toxischen chemischen Expositionen zu Hause, in der Kinderbetreuung, in der Schule, am Arbeitsplatz, beim Spielen und in der Gemeinde.
- Bewertung der EMF-Belastung in der Gemeinde, am Arbeitsplatz, in der Schule und zu Hause: Nähe von Mobilfunkmasten, Routern, schnurlosen DECT-Telefonen und anderen drahtlosen Technologien, insbesondere in Schlafbereichen.
- Bewertung der Veränderung von Gesundheitsproblemen in Abhängigkeit von Zeit und Ort. Nehmen zum Beispiel

Kopfschmerzen oder andere unerklärliche Symptome in verschiedenen Bereichen ab, kehren aber vor allem dann zurück, wenn sich das Kind an einem bestimmten Ort aufhält? Haben die Kopfschmerzen oder Symptome begonnen, als ein neuer Router oder eine neue Mobilfunkantenne installiert wurde?

Da sich die Technologien (und gesündere Alternativen) weiterentwickeln und der Wissensstand zunimmt, müssen Kliniker ihr Wissen regelmäßig durch medizinische Fortbildung mit Fachleuten auf dem Gebiet der Bioelektromagnetik auf den neuesten Stand bringen - ein Gebiet, das an den medizinischen Fakultäten derzeit noch kaum gelehrt oder studiert wird. Einige akkreditierte Programme<sup>203</sup>, die bis zu 24,5 Fortbildungspunkte bieten, können online gefunden werden.

## Elektromagnetische Empfindlichkeit - ein unterdiagnostiziertes Problem in der Kinderheilkunde

Das Phänomen der Hyperreaktivität (auch Hyperreagibilität) auf chemische und physikalische Phänomene ist nach wie vor kaum erforscht, aber man geht davon aus, dass es sich um ein ernstes und manchmal behinderndes Problem handelt.

Es wird angenommen, dass die elektromagnetische Hypersensibilität (EHS)<sup>204</sup> einen kleinen, aber bedeutenden Teil der Bevölkerung betrifft - Schätzungen gehen von bis zu 15 % aus. Ihre Prävalenz bei Kindern wurde noch nie untersucht, könnte sich aber als wichtig erweisen, wenn die vagen Symptome wie Kopfschmerzen, Taubheitsgefühl, Kribbeln und Ausschlag nicht anders gelindert werden können. EHS ist durch Kopfschmerzen, Schlafprobleme, Gedächtnisstörungen, Nasenbluten, unerklärliche Hautausschläge, Verdauungsprobleme, neurologische Probleme, Herzklopfen und Müdigkeit gekennzeichnet. Die Symptome<sup>200</sup> variieren von Person zu Person, was die Erforschung und Behandlung dieses Themas zu einer Herausforderung macht. Vor allem die pränatale und postnatale Exposition gegenüber HF-Strahlung von Mobiltelefonen wird mit vermehrten Kopfschmerzen bei Kindern<sup>205</sup>, Jugendlichen<sup>206</sup> und Erwachsenen in Verbindung gebracht, und die Nutzung von Smartphones wurde als Auslöser für Migräne identifiziert.<sup>207</sup>

EHS-Symptome<sup>208</sup> wurden mit der Exposition gegenüber nicht-ionisierenden EMF in Verbindung gebracht, die auch von nahe gelegenen Mobilfunkmasten, Mobilfunkantennen und Routern ausgehen. Studien über EHS bei Kindern wurden bisher nicht durchgeführt. Dieudonné<sup>209</sup> untersuchte vierzig Personen, die davon überzeugt waren, dass sie empfindlich auf elektromagnetische Felder reagierten, und kam zu dem Schluss, dass entgegen der Behauptung von Nocebo-Reaktionen die Zuschreibung ihrer Symptome einem allgemeinen linearen Modell folgte: (1) Auftreten von Symptomen; (2) Unfähigkeit, eine Lösung zu finden; (3) Entdeckung von EHS; (4) Sammeln von Informationen über EHS; (5) implizites Auftreten der Überzeugung; (6) Experimentieren; und (7) bewusste Annahme dieses Wissens.

Ein weiterer Beleg dafür, wie wichtig es ist, Expositionsquellen zu identifizieren und zu reduzieren, ist ein aktueller Bericht aus Schweden über das plötzliche Auftreten hochreaktiver biologischer Rückmeldungen auf eine neu eingeführte HF-Quelle. Nach der Einführung von 5G-Netzen in einer dichten städtischen Umgebung berichtete ein zuvor gesundes Ehepaar über behindernde Symptome wie Kopfschmerzen, Herzklopfen, Kribbeln, Tinnitus und großes Unbehagen. Bei einer eingehenden

Untersuchung ihrer Umgebung wurde festgestellt, dass das 5G-Netz kürzlich ganz in der Nähe ihrer Wohnung installiert worden war. Ein ausführlicher Fallbericht<sup>210</sup> dokumentiert diese plötzliche Veränderung der HF-Belastung und das Auftreten der schweren Symptome bei diesem Paar nur wenige Tage nach der Installation einer 5G-Basisstation auf dem Dach über ihrer Wohnung. Die Installation von 5G führte zu einem dramatischen Anstieg der maximalen (Spitzen-)Mikrowellenexposition von  $9.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  auf  $>2.500.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . Die Symptome kehrten sich schnell um, als das Paar in eine Wohnung mit wesentlich geringerer Exposition umzog. Die Symptome werden häufig falsch diagnostiziert, da es den Angehörigen der Gesundheitsberufe an entsprechender Ausbildung mangelt. Daher wurden vorläufige klinische Praxisleitlinien<sup>201</sup> entwickelt.

Erwachsenen in den USA wird häufig am Arbeitsplatz entgegengekommen (sie erhalten festverkabelte Computeranschlüsse oder müssen in ein Büro mit niedrigerem EMF-Wert umziehen), aber in vielen Fällen mussten sie rechtliche Schritte einleiten.

*Das U.S. Access Board<sup>211</sup> hat anerkannt, dass "elektromagnetische Empfindlichkeiten als Behinderungen" im Sinne des Americans with Disabilities Act gelten können, und das Job Accommodations Network, das vom Office of Disability Employment Policy des US-Arbeitsministeriums unterstützt wird, hat eine Liste von Richtlinien<sup>212</sup> für die Berücksichtigung elektromagnetischer Empfindlichkeit herausgegeben.<sup>213</sup>*

Trotz dieser Vorkehrungen für Erwachsene ist es für Eltern, die in öffentlichen Schulen in den USA Vorkehrungen für Kinder mit EHS treffen wollen, schwierig, da sich die Schulen weigern, diese Vorkehrungen zu treffen, und die Familien oft auf Heimunterricht ausweichen müssen. Im Vereinigten Königreich gewannen Eltern einen Rechtsstreit<sup>214</sup> gegen die örtlichen Behörden, die nun gezwungen sind, eine Umgebung mit reduzierter Funkstrahlung zu schaffen, damit ihr Kind die Schule besuchen kann. Auf internationaler Ebene gibt es auch andere Beispiele für Gerichtsentscheidungen, die Anpassungen am Arbeitsplatz oder Zahlungen für Schädigungen<sup>215</sup> aufgrund von EMF-Exposition vorschreiben.

In Kanada wird EHS in dem Bericht „Medical Perspectives on Environmental Sensitivities“<sup>216</sup> an die kanadische Menschenrechtskommission beschrieben.<sup>217</sup> Medizinische und juristische<sup>216</sup> Berichte untermauern eine Politik<sup>218</sup> für Anpassungen gemäß dem kanadischen Menschenrechtsgesetz.

## Synergistische und kombinierte toxische Expositionen bei Kindern

Kinder sind im Laufe ihres Lebens zahlreichen Kombinationen von Umwelteinflüssen ausgesetzt. Selbst wenn die Belastungen gering sind, können sie sich gegenseitig beeinflussen, was zu additiven oder synergistischen Ergebnissen führt.

Tier- und Humanstudien<sup>219</sup> deuten darauf hin, dass nicht-ionisierende EMF in Kombination mit anderen toxischen Substanzen synergistisch wirken können. So fanden beispielsweise Suero-Benavides et al.<sup>220</sup> heraus, dass 2,45 GHz, eine in WLAN-Netzwerken verwendete Frequenz, in Kombination mit Ruß

(carbon black (CB)) die CB-induzierte Toxizität und verlängerte entzündliche Immunreaktionen erhöht. Es wurde festgestellt, dass die Exposition gegenüber nicht-ionisierenden EMF von Magnetresonanztomographen (MRT) oder Mobiltelefonen die Freisetzung von Quecksilber aus Zahnamalgam verstärkt.<sup>221</sup> In mehreren Studien wurde festgestellt, dass HF-Strahlung die Integrität der Blut-Hirn-Schranke beeinträchtigt, die das Gehirn vor toxischen Molekülen schützt, die im Blut zirkulieren.<sup>132,222, 223, 224, 225</sup>

Eine Längsschnittstudie<sup>226</sup> mit 2.422 Kindern an 27 Grundschulen in 10 koreanischen Städten untersuchte die Auswirkungen und Wechselwirkungen zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen für Sprachanrufe und den Bleispiegeln im Blut (die Bleispiegel waren vergleichbar mit denen von US-Kindern). Das Risiko einer Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung war bei den Kindern mit über dem Mittelwert liegenden Bleiwerten und einer über dem Mittelwert liegenden Dauer der wöchentlichen Handygespräche signifikant höher.

Eine ähnliche Wechselwirkung wurde von Choi et al.<sup>227</sup> berichtet. In der gesamten Kohorte hatte die mütterliche Handynutzung während der Schwangerschaft insgesamt keinen Einfluss auf die Neuroentwicklung des Kindes in den ersten drei Jahren. Bei Kindern, die in der Gebärmutter einem höheren mütterlichen Blutbleispiegel ausgesetzt waren, wurde jedoch ein größeres Risiko sowohl für einen schlechteren psychomotorischen Entwicklungsindex als auch für einen niedrigeren geistigen Entwicklungsindex bis zum Alter von 36 Monaten mit einer höheren Telefonierdauer oder -häufigkeit während der Schwangerschaft in Verbindung gebracht.

## **Eine theoretische Rolle für HF-Strahlung in der Erforschung der Ursachen von Autismus-Spektrum-Störungen**

Autismus ist nach wie vor ein rätselhaftes und beunruhigendes Problem für eine wachsende Zahl von Kindern, ihren Familien und ihren Ärzten. Die Krankheit<sup>228</sup> nimmt sowohl bei Männern als auch bei Frauen und in fast allen ethnischen Untergruppen zu, von 4,2 pro 1.000 im Jahr 1996 auf 15,5 pro 1.000 im Jahr 2010. Ein aktueller Bericht der U.S. Centers for Disease Control and Prevention stellt fest, dass die Raten weiter gestiegen sind. Die Prävalenz von Autismus-Spektrum-Störungen (ASS) in 11 Überwachungsstellen liegt bei 1 von 54 Kindern (1:54) im Alter von 8 Jahren im Jahr 2016 (oder 1,85 %). Dies stellt einen Anstieg um 10 % gegenüber dem Vorjahr dar, als die Prävalenz bei 1:59 lag, und ist die höchste Prävalenz, seit die CDC im Jahr 2000 mit der Verfolgung von ASS begann. In Übereinstimmung mit früheren Berichten war die Wahrscheinlichkeit, dass Jungen mit ASS identifiziert wurden, vier- bis fünfmal höher als bei Mädchen. Die ASS-Rate liegt bei 1 von 34 Jungen (2,97 %) und 1 von 145 Mädchen (0,69 %). Obwohl viele Umweltfaktoren<sup>229</sup> wie Luftverschmutzung, Pestizide und Schwermetalle angeführt wurden, sollte auch die mögliche Rolle von HF-Strahlung ernsthaft untersucht werden.

Experimentelle Studien zeigen, dass pränatale Exposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung die Entwicklung des Hippocampus stören kann; sie bieten eine gewisse Grundlage für Vermutungen, dass EMF auch ein beitragender Faktor sein könnten. Daher wurde die Hypothese aufgestellt, dass HF-Strahlung eine Rolle bei der Entwicklung von ASS durch die Störung des sich entwickelnden, schlecht myelinisierten Zentralnervensystems spielen könnte. Bei schwerwiegenden Verhaltensstörungen, einschließlich Autismus, haben einige Psychiater

erfolgreiche Behandlungsmethoden eingesetzt, die Familienmanagementsysteme beinhalten, um die Beendigung und den Entzug der Nutzung digitaler Geräte zu erleichtern. Die Psychiaterin Victoria Dunckley<sup>192</sup> stellt fest, dass die frühe Nutzung digitaler Geräte bei jungen Gehirnen und Körpern einen erhöhten Kampf- oder Fluchtzustand hervorrufen kann, der sie unter ständigen Stress setzt. Kinder werden leicht süchtig nach Einschlaf-, Essens- und sogar Toilettenroutinen, die nicht von beruhigenden Worten der Eltern, sondern von digitaler Musik, Bildern und Geräuschen begleitet werden, die den Dopaminspiegel im Gehirn in die Höhe treiben - ein Stoff, der mit Vergnügen und Suchtverhalten in Verbindung gebracht wird. Anhand mehrerer beeindruckender Fallberichte von Kleinkindern, die außer Kontrolle geraten waren und ihre digitale Fixierung nicht aufgeben konnten, stellt Dunckley fest, dass digitales Fasten beeindruckende Ergebnisse erzielen kann, insbesondere bei Kindern im Autismus-Spektrum. Ihr Buch enthält mehrere detaillierte Beispiele dafür, dass sich das Verhalten von Kindern radikal verbessern kann, wenn man ihren Zugang zu digitalen Geräten verändert. Auch in anderen veröffentlichten Berichten wird dieser vermutete Zusammenhang bestätigt.<sup>230, 231</sup>

Die Psychiaterin Martha Herbert und Cindy Sage, die Forschungsanalytikerin und Herausgeberin des BiInitiative Report, einer fortlaufenden Aufzeichnung einschlägiger wissenschaftlicher Erkenntnisse, haben unter anderem eine offensive Untersuchung der möglichen Zusammenhänge zwischen der Nutzung und Exposition von Funkfrequenzen und den Störungen im Autismus-Spektrum gefordert. Sie vermuten, dass Verhaltensweisen im Autismus-Spektrum aus Veränderungen der elektrophysiologischen oszillatorischen Synchronisation entstehen könnten und EMF/HF-Strahlung dazu beitragen und "schwierige biologische Probleme und Symptome verschlimmern könnten; umgekehrt könnte eine Verringerung der Exposition die Symptome von ASS verbessern, indem sie die Behinderung der physiologischen Reparatur verringert".<sup>232, 233</sup>

## **Unzureichende gesetzliche Grenzwerte**

Die Grenzwerte der FCC und der ICNIRP werden seit langem von Experten und den Gerichten kritisiert, weil sie weder die besondere Anfälligkeit von Kindern noch die biologischen und gesundheitlichen Auswirkungen einer langfristigen Exposition berücksichtigen und auch nicht die aktuellen Möglichkeiten, wie Kinder der Strahlung von Mobiltelefonen und drahtlosen Geräten ausgesetzt sind. Im Jahr 2012 forderte die AAP in einem Schreiben an die FCC und andere Bundesbehörden eine Aktualisierung der FCC-Grenzwerte aus dem Jahr 1996 und erklärte: "Es ist wichtig, dass jeder neue Standard für Mobiltelefone oder andere drahtlose Geräte auf dem Schutz der jüngsten und am meisten gefährdeten Bevölkerungsgruppen basiert, um sicherzustellen, dass sie ihr ganzes Leben lang geschützt sind." Ein Jahrzehnt später ist diese Forderung immer noch unbeantwortet.

## **Grenzwerte für Handys und drahtlose Geräte**

Zu den Vorschriften für die Exposition des Menschen gegenüber HF-Strahlung gehören: 1. zulässige Grenzwerte für die Exposition in der Umgebung, die durch die Emissionen von Mobilfunknetzen und drahtlosen Netzwerken verursacht werden, in den USA als maximal zulässige Expositionsgrenzwerte bezeichnet, und 2. Expositionsgrenzwerte für die lokale Exposition in Bereichen des Körpergewebes durch Mobiltelefone so-

wie persönliche und Haushaltsgeräte, bei denen Kopf- und Körper-SAR-Grenzwerte angegeben werden. Die ICNIRP- und IEEE<sup>38</sup>-Normen, die als Grundlage für die Grenzwerte vieler Regierungen dienen, sind seit den 1990er Jahren weitgehend unverändert geblieben und sollen vor den Auswirkungen kurzfristiger starker Expositionen schützen. Diese Grenzwerte sind nicht für den Schutz vor den Auswirkungen langfristiger, schwacher chronischer Expositionen gedacht, da ICNIRP und IEEE solche Auswirkungen nicht als "erwiesen" ansehen. Das ehemalige ICNIRP-Mitglied James C. Lin beschreibt sie so: "Sie sind fehlerhaft und nicht auf Langzeitexposition bei niedrigen Werten anwendbar. Anstelle auf den Fortschritten in der Wissenschaft beruhen sie auf falschen Annahmen mit veralteten Expositionsmesswerten, die Kinder, Arbeiter und die Öffentlichkeit nicht angemessen vor der Exposition gegenüber HF-Strahlung oder Personen mit Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischer Strahlung von drahtlosen Geräten und Systemen schützen. Daher sind viele der empfohlenen Grenzwerte fragwürdig und vom Standpunkt der Sicherheit und des Schutzes der öffentlichen Gesundheit aus nicht wissenschaftlich gerechtfertigt."<sup>16</sup>

## Grenzwerte für die Belastung durch drahtlose Netzwerke

Die US-Grenzwerte für HF-Strahlung wurden 1996 von der FCC verkündet und basieren weitgehend auf einem Bericht des National Council on Radiation Protection & Measurements (NCRP)<sup>234</sup> aus dem Jahr 1986 und der Norm C95.1-1991 des Institute of Electrical and Electronics Engineers (ANSI/IEEE).<sup>235</sup> Die US-Grenzwerte für HF-Werte in der Umwelt gehören zu den fahrlässigsten der Welt und ähneln denen von Australien, Japan, Deutschland und anderen Ländern, die ebenfalls unzureichende ICNIRP-Grenzwerte eingeführt haben. Einige Länder, darunter Italien, die Schweiz, China und Russland, haben jedoch Grenzwerte für die Emissionen von Mobilfunktürmen und Basisstationen eingeführt, die weitaus strenger sind<sup>236</sup> als die thermisch basierten Grenzwerte der FCC und der ICNIRP in den USA. Europäische Länder mit strengeren gesetzlichen Grenzwerten legen ihre Politik auf der Grundlage des Vorsorgeprinzips fest, einem wichtigen Rahmen für ihren Entscheidungsprozess. Dieses Prinzip beruht auf dem weisen Ratschlag von Benjamin Franklin, dass es besser ist, sicher zu sein, als etwas zu bereuen.

*Im Jahr 2011 verabschiedete die Parlamentarische Versammlung des Europarats (PACE) die Resolution 1815: Die potenziellen Gefahren elektromagnetischer Felder und ihre Auswirkungen auf die Umwelt<sup>237</sup> empfehlen nachdrücklich, das ALARA-Prinzip (as low as reasonably achievable) anzuwenden, das sowohl die sogenannten thermischen als auch die athermischen oder biologischen Wirkungen elektromagnetischer Emissionen oder Strahlungen umfasst.*

Im Gegensatz dazu gelten die strengeren HF-Grenzwerte in Russland und China<sup>238</sup> als "wissenschaftlich fundiert" und nicht vorsorglich. Sie wurden auf der Grundlage von Studien ihrer eigenen Regierungswissenschaftler über die biologischen Auswirkungen nichtthermischer HF-Strahlungspegel entwickelt. Indien senkte seine Grenzwerte auf 1/10 der ICNIRP-Grenzwerte im Jahr 2012<sup>239</sup> als Reaktion auf einen Bericht eines interministeriellen Ausschusses, der die Forschung<sup>240</sup> zu den Auswirkungen auf wild lebende Tiere, einschließlich Honigbie-

nen und andere bestäubende Insekten, überprüft hatte und zu dem Schluss kam<sup>239</sup>, dass die "überwiegende Mehrheit der veröffentlichten Literatur auf schädliche Auswirkungen von EMF bei verschiedenen Arten hinweist." (Siehe Abb. 7 für Vergleiche) Es ist bemerkenswert, dass andere Gruppen noch niedrigere Grenzwerte empfohlen haben. Der von T-Mobile und der Deutschen Telekom im Jahr 2000 in Auftrag gegebene Ecolog-Bericht beispielsweise überprüfte die wissenschaftlichen Erkenntnisse und empfahl einen Grenzwert von 0,01 W/m<sup>2</sup> (anstelle von 10 W/m<sup>2</sup>, Anmerkung der Übersetzer), der „von allen Basisstationen in der Nähe empfindlicher Orte wie Wohngebieten, Schulen, Kindergärten, Spielplätzen, Krankenhäusern und allen anderen Orten, an denen sich Menschen länger als vier Stunden aufhalten, strikt eingehalten werden sollte“.<sup>241</sup>

## Warum die SAR-Norm zum Schutz von Kindern unzureichend ist

Bei Tests vor der Markteinführung von Mobiltelefonen und drahtlosen Geräten wird die spezifische Absorptionsrate (SAR) gemessen, die als Standardmaß für die Absorptionsrate von Hochfrequenzenergie gilt (siehe Tabelle 2). Für Mobiltelefone und andere drahtlose Handheld-Geräte haben viele Länder entweder die FCC- oder die ICNIRP-Grenzwerte für die Einhaltung der HF-Vorschriften vor dem Inverkehrbringen übernommen. Obwohl die FCC-Grenzwerte im Vergleich zu den ICNIRP-Grenzwerten etwas restriktiver sind, beruhen beide auf der Vermeidung von Erhitzungseffekten, die durch den SAR-Wert gemessen werden.

Die SAR-Metrik wird als wärmebasiertes Maß kritisiert, das nicht in der Lage ist, die zahlreichen Merkmale<sup>242</sup> der nicht-thermischen Exposition zu erfassen, die als relevant für biologische Wirkungen angesehen werden, wie z. B. Impuls, Modulation, Variabilität oder Dauer der Exposition.

Doch selbst wenn die SAR ein gültiges Maß für Schwellenwerte für gesundheitliche Auswirkungen wäre, wird das SAR-Testprotokoll selbst seit langem aus zahlreichen Gründen als unrealistisch kritisiert. Zunächst einmal berücksichtigt es nicht die geringere Größe von Frauen, Säuglingen und Kindern sowie andere Eigenschaften von Kindern, die sie besonders anfällig machen. So sitzt das Gehirn eines Kindes in einem dünneren Schädel, der mehr Flüssigkeit enthält, die pro Volumeneinheit mehr Strahlung absorbieren kann als das Gehirn eines Erwachsenen mit seinem dickeren Schädel.

In Bezug auf die Exposition von Kindern schrieb die AAP<sup>1</sup> 2012 an die FCC und stellte fest, dass "obwohl in den Vereinigten Staaten verkaufte drahtlose Geräte sicherstellen müssen, dass sie den maximal zulässigen SAR-Grenzwert nicht überschreiten, wenn sie mit dem höchstmöglichen Leistungswert des Geräts betrieben werden, wurden Bedenken geäußert, dass eine langfristige HF-Exposition bei diesem Wert das Gehirn und andere Gewebe beeinträchtigt und mit Arten von Hirntumoren, einschließlich Gliomen und Meningeomen, in Verbindung gebracht werden kann", und dass "die derzeitige Messgröße für die HF-Exposition, die den Verbrauchern zur Verfügung steht, die spezifische Absorptionsrate, keine genaue Vorhersage der tatsächlichen Exposition ist".

Das Kopf- und Körperphantom ist mit einer homogenen Flüssigkeit gefüllt, die nicht die Art und Weise erfasst, wie sich das elektromagnetische Feld durch die verschiedenen Gewebe im Kopf bewegt, wie z. B. im Hirngewebe, das unterschiedliche Dicken und Eigenschaften aufweist. Die dielektrischen Eigen-

schaften des Kopf- und Hirngewebes von Kindern unterscheiden sich von denen Erwachsener, weil das Gewebe von Kindern einen höheren Wassergehalt hat und daher leitfähiger ist als das von Erwachsenen.

Lange Zeit wurde argumentiert, dass das SAM-Modell eine vorsichtige Schätzung der Exposition durch ein Mobiltelefon bietet, selbst für Kinder. Die Forschung, die diese Position unterstützt, hat jedoch im Allgemeinen eine verkleinerte Version eines Erwachsenenkopfes verwendet, die nicht alle altersabhängigen Veränderungen bei Kindern berücksichtigt, wie z. B. die vorderen Fontanellen, die sich zwischen 7 und 18 Monaten schließen. Wenn diese realistischeren Variationen berücksichtigt werden, sind die SAR-Werte für Kinder deutlich höher. Mohammed<sup>243</sup> verwendete beispielsweise realistische Kopfmodelle in mehreren Szenarien, in denen Kleinkinder zwischen 3 Monaten und 18 Monaten Mobiltelefone in der Nähe von Ohr und Mund hielten, sowie eine Person, die ein Mobiltelefon in die Nähe des Kopfes eines Kindes hielt. Sie fanden heraus, dass die 10 g-SAR-Werte am Kopf von Kleinkindern deutlich höher sind als die von Erwachsenen und auch deutlich höher als die skalierten Modelle, die in früheren Studien verwendet wurden, die sich mit der Dosimetrie für Kinder über 3 Jahren befassten.

Die Forschung, die das SAM-Modell<sup>244</sup> unterstützt, basiert auf frühen Mobiltelefonmodellen, die mit Antennen an der Oberseite des Telefongehäuses konstruiert wurden, und neuere Untersuchungen haben ergeben, dass das SAM-Modell bei neueren Mobiltelefonmodellen mit Antennen an der Unterseite des Telefons nicht immer eine konservative Schätzung gewährleistet<sup>40</sup>.

Die Mobiltelefone werden bei der höchsten Leistungsstufe in bestimmten Positionen gegen den Phantomkopf und -körper getestet. Die Geräte werden im Allgemeinen jedoch mit der minimal erforderlichen Leistung betrieben, um die Batterielebensdauer zu maximieren, aber in vielen Situationen ist die Ausgangsleistung viel höher, um den Empfang an der Empfangsantenne der Mobilfunkbasisstation sicherzustellen. Ist die Empfangsstärke dort zu niedrig, löst das einen erheblichen Anstieg der Emissionen des Mobiltelefons aus; Menschen treffen auf eine niedrige Empfangsstärke in ländlichen Gebieten, die weit von Basisstationen entfernt sind, und auch zum Beispiel in Kellerräumen oder Gebäuden, wo Baumaterialien das Signal blockieren. Die vielen realen Expositionsszenarien führen dazu, dass die Emissionen eines Mobiltelefons unabhängig vom angegebenen SAR-Wert stark variieren.

Obwohl die standardisierten SAR-Testpositionen die Art und Weise simulieren sollen, wie Menschen ein Mobiltelefon normalerweise halten, werden die standardisierten Positionen nicht in Körperkontaktpositionen für Körper-SAR-Tests getestet. Die Testpositionen imitieren nicht den Ganzkörperkontakt eines Mobiltelefons, wie z. B. in einer Hosentasche oder am Bauch liegend. Heutzutage halten Eltern ihre Neugeborenen oft so, dass das Mobiltelefon direkt am Körper des Babys liegt, und dennoch umfassen die SAR-Tests vor der Markteinführung keine solchen Positionen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der SAR-Test und SAM rundum kritisiert wurden, da sie die reale Exposition von Kindern, Babys und Kleinkindern sowie von Kindern, die in direktem oder engem Körperkontakt mit Mobiltelefonen oder anderen Geräten stehen, unterschätzen und nicht angemessen erfassen. Außerdem erfassen die Hersteller den SAR-Wert von Mobiltelefonen in verschiedenen Abständen zum Körper. In

den USA kann ein Hersteller entscheiden, ob er die SAR-Werte für den Körper in 5, 10 oder sogar 25 mm Entfernung testet. Der gemessene SAR-Wert wird umso höher, je näher das Mobiltelefon am Körperphantom getestet wird. Daher können die vom Hersteller angegebenen SAR-Werte verschiedener Modelle, die unterschiedliche Abstände verwenden, nicht direkt miteinander verglichen werden. Obwohl die SAR-Werte häufig zum Vergleich von Mobiltelefonen herangezogen werden, um festzustellen, welches Mobiltelefon mehr HF-Strahlung abgibt als andere, spiegelt der SAR-Wert aus diesen Gründen nicht unbedingt einen Unterschied in der tatsächlichen Exposition des Verbrauchers wider. Ein Telefon mit einem niedrigeren SAR-Wert bedeutet also nicht unbedingt eine geringere HF-Belastung. Nichtsdestotrotz ist der SAR-Wert die gebräuchliche Messgröße und die Grundlage für die weltweiten Expositionsgrenzwerte.

## Regulierungslücken zum Nachteil von Kindern

Die American Academy of Pediatrics (AAP)<sup>1</sup> setzt sich seit langem dafür ein<sup>1</sup>, dass die Bundesbehörden die Vorschriften verschärfen, und fordert:

- eine Neubewertung der Grenzwerte für die Exposition von Menschen und der Testanforderungen, um sicherzustellen, dass die besondere Anfälligkeit von Kindern und die Art und Weise, wie Kinder heutzutage Mobiltelefone in unmittelbarer Nähe zum Körper benutzen, berücksichtigt wird;
- die Einrichtung eines Bundesforschungsprogramms als Grundlage für Expositionsstandards;
- Anforderungen an die Kennzeichnung von Mobiltelefonen und drahtlosen Geräten, damit "Eltern die potenziellen Gefahren der HF-Exposition besser verstehen und ihre Kinder schützen können".

Die AAP unterstützte<sup>245</sup> die 2012 vorgeschlagene nationale Gesetzgebung "Cell Phone Right To Know H.R. 6358"<sup>246</sup>, die zahlreiche Regulierungslücken in der Bundespolitik behoben hätte, indem sie feststellte, dass "Kinder unverhältnismäßig stark von Umweltexpositionen, einschließlich Mobilfunkstrahlung, betroffen sind. Die Unterschiede in der Knochendichte und der Flüssigkeitsmenge im Gehirn eines Kindes im Vergleich zum Gehirn eines Erwachsenen könnten ermöglichen, dass größere Mengen an HF-Energie tiefer in das kindliche Gehirn absorbiert werden als bei Erwachsenen."

## Prävention: Medizinische Organisation, öffentliche Gesundheit, Regierungspolitik und Maßnahmen zur Verringerung des Risikos für Kinder

Auf der Grundlage der anerkannten wissenschaftlichen Erkenntnisse, einschließlich der besonderen Anfälligkeit von Kindern, ihrer Expositions- und Krankheitsverläufe, müssen Ärzte wissen, dass sie von medizinischen Fachverbänden unterstützt werden und über die Mittel verfügen, ihre Patienten zu unterstützen, und dass sie schließlich über die nötigen Fakten verfügen, um sich für sie einzusetzen. Einige der unterstützenden Einrichtungen und Empfehlungen sind unten aufgeführt. Andere können unter [www.ehtrust.org](http://www.ehtrust.org)<sup>247</sup> gefunden werden.

**V**ermeiden Sie es, Ihr Handy am Körper zu tragen, z. B. in einer Kleidungstasche, einem Strumpf oder einem BH. Die Hersteller von Mobiltelefonen können nicht garantieren, dass die Strahlung, die Sie aufnehmen, auf einem sicheren Niveau liegt.<sup>252</sup> Amerikanische Akademie für Pädiatrie.<sup>252</sup>

## Medizinische Organisationen und Gesundheitsbehörden

Es gibt Empfehlungen<sup>252</sup> der AAP und mehrerer internationaler medizinischer Organisationen<sup>248, 249, 250, 251</sup> zur Reduzierung der Strahlenbelastung durch Mobiltelefone. Die AAP setzt sich seit langem für schärfere Schutzbestimmungen<sup>245</sup> auf Bundesebene ein und veröffentlichte 2016 zehn Möglichkeiten zur Verringerung der Strahlenbelastung<sup>252</sup>, darunter "Vermeiden Sie es, Ihr Handy am Körper zu tragen, z. B. in einer Kleidungstasche, einem Strumpf oder einem BH. Die Hersteller von Mobiltelefonen können nicht garantieren, dass die Strahlung, die Sie aufnehmen, auf einem sicheren Niveau liegt."

Im Jahr 2017 veröffentlichte das California Department of Public Health (CDPH) eine Empfehlung zu Mobiltelefonen.<sup>253</sup> Die Wissenschaftler des CDPH hatten die HF-Strahlung von fast<sup>254</sup> zwei Dutzend Mobiltelefonen ausgewertet und festgestellt, dass die Emissionen bei der Übertragung mit höchster Leistung aufgrund der Nutzung in Gebieten mit geringem Empfang (ein oder zwei Balken) bis zu 10.000-mal höher sein können als bei der Nutzung des Mobiltelefons in Gebieten mit starkem Signal. Die Empfehlung des CDPH basierte ursprünglich auf der Empfehlung des Krebsinstituts der Universität Pittsburgh aus dem Jahr 2008<sup>253</sup> zur Verringerung der Handystrahlung für Ärzte und Personal, die die erste Empfehlung einer medizinischen Einrichtung in den USA zum Thema Handystrahlung war.

Im Jahr 2022 gab der Maryland State Children's Environmental Health and Protection Advisory Council<sup>255</sup> Informationen darüber heraus, wie Familien die Exposition gegenüber drahtlosen und nicht-ionisierenden EMF zu Hause reduzieren können, und nannte auch Empfehlungen für Schulen.

Im Folgenden finden Sie eine Zusammenfassung der grundlegenden Empfehlungen dieser Organisationen und Behörden.

## Wie Familien die EMF-Exposition reduzieren können

### Mobiltelefone

- Mobiltelefone sind weder Spielzeuge noch Beißgegenstände.
- Wenn Eltern ihre Babys oder Kinder auf dem Arm halten, sollten sie nicht gleichzeitig Mobiltelefone oder drahtlose Geräte benutzen oder halten, da dies das Kind der Hochfrequenzstrahlung aussetzt.
- Verringern Sie die Gesamtzeit, die mit drahtlosen Telefonen verbracht wird, und bevorzugen Sie schnurgebundene Telefone für lange Gespräche.
- Verzögern Sie den Kauf eines ersten Mobiltelefons für ein Kind. Mobiltelefone sollten von Kindern nur in Notfällen benutzt werden.

- Bevorzugen Sie Textnachrichten gegenüber Sprach- und Videoanrufen.
- Verringern Sie die Strahlenbelastung des Gehirns, indem Sie Mobiltelefone im Lauthörmodus verwenden, wobei sie vom Kopf und Körper entfernt sind, oder verwenden Sie kabelgebundene Headsets mit Luftschlauch, wobei das Mobiltelefon vom Körper entfernt ist. Vermeiden Sie AirPods (Bluetooth gestützte Ohrstöpsel / Kopfhörer). Die Bluetooth-Signale sind zwar viel schwächer als bei Mobiltelefonen, aber Kinder und Jugendliche tragen sie stundenlang am Tag im Ohr, und die langfristigen Auswirkungen wurden noch nie unabhängig untersucht.
- Vermeiden Sie es, Handys am Körper zu tragen, z. B. in einer Kleidertasche, Strumpf oder einem BH.
- Sprechen oder simsen Sie nicht beim Autofahren.
- Lernen Sie, wie man das Mobiltelefon in den Flugmodus schaltet und Bluetooth, WLAN- und Hotspot-Antennen in den Einstellungen ausschaltet. Viele Anwendungen auf dem Mobiltelefon können auch im Flugmodus genutzt werden. Um zum Beispiel Filme und Musik abzuspielen, aber unnötige HF-Strahlungsbelastung zu vermeiden, laden Sie die Dateien zuerst herunter, schalten Sie das Gerät dann in den Flugmodus und spielen Sie sie ab.
- Behalten Sie Ihre Signalstärke im Auge (d. h. wie viele Balken Sie haben). Je schwächer das Mobilfunksignal ist, desto stärker muss Ihr Handy strahlen und desto mehr Strahlung gibt es ab. Bevor Sie Ihr Gerät benutzen, ist es besser zu warten, bis Sie ein stärkeres Signal haben.
- Vermeiden Sie es, in Autos, Aufzügen, Zügen und Bussen zu telefonieren. Das Handy hat es schwerer, ein Signal durch Metall hindurch zu bekommen, so dass die Sendeleistung steigt.
- Informieren Sie sich, wie Sie Ihr Mobiltelefon mit einem Netzwerk-Kabel (Ethernet-Kabel) an das Internet anschließen können.

### Internetanschlüsse für Computer, Laptops und Tablets in Gebäuden

- Installieren Sie den Internetzugang über eine festverdrahtete Ethernet-Verbindung anstelle von WLAN.
- WLAN-Router sollten von Bereichen entfernt sein, in denen Kinder schlafen, spielen und zur Schule gehen.
- Schalten Sie WLAN-Netzwerke zumindest zur Schlafenszeit und während der Zeit, in der sie nicht benutzt werden, aus.
- Schließen Sie Computer-/Laptop-/Tablet-Zubehör und Peripheriegeräte wie Drucker, Lautsprecher, Tastatur und Maus mit Kabeln und nicht über WLAN oder Bluetooth an.

### Zu Hause

- Ersetzen Sie schnurlose Telefone durch schnurgebundene Telefone. Schnurlose Telefone und ihre Basisstationen senden HF-Strahlung aus.
- Vermeiden Sie drahtlose digitale Babyphone. Falls erforderlich, wählen Sie kabelgebundene Überwachungssysteme.
- Entfernen Sie Bildschirme, elektronische Geräte und drahtlose Geräte aus dem Schlafzimmer.
- Schalten Sie Geräte nachts aus und stellen Sie sicher, dass der Schlafbereich nicht an einer Wand liegt, an der auf der

anderen Seite Stromzähler installiert sind, da "intelligente" Zähler Quellen von HF-Strahlung und anderen EMF sind.

## Zusätzliche Überlegungen während der Schwangerschaft

Einfache vorbeugende Maßnahmen während der Schwangerschaft können die Exposition des Fötus erheblich verringern, insbesondere die hohe Intensität der Exposition durch ein drahtloses Gerät, das direkt auf dem Bauch aufliegt.

- Halten Sie Mobiltelefone und drahtlose Geräte von Ihrem Unterleib fern.
- Schalten Sie Mobiltelefone aus, wenn Sie sie in der Nähe Ihres Körpers tragen.
- Verwenden Sie Laptops und Tablets immer auf einem Schreibtisch, nicht auf dem Schoß oder in Bauchnähe.
- Verwenden Sie für Telefongespräche schnurgebundene Telefone anstelle von Handys oder schnurlosen Mobiltelefonen.
- Benutzen Sie Verbindungen mit Netzkabeln (Ethernet-Kabeln) anstelle von WLAN, um Geräte anzuschließen.

## Emissions- und Umgebungsgrenzwerte für Mobilfunkmasten

Wie aus Abb. 7 hervorgeht, haben zahlreiche Länder wie Indien, Israel, Griechenland, China<sup>256</sup>, Russland und osteuropäische Länder HF-Grenzwerte für die Emissionen von Mobilfunknetzen, die viel strenger sind als die Grenzwerte der US/FCC (obwohl es nicht in jedem Land eine dokumentierte zuverlässige Überwachung gibt oder durchgesetzt wird). Australien, Japan, Italien und die Schweiz haben Grenzwerte für Bereiche wie Schulen und Wohngebäude sowie für Bereiche, in denen sich Menschen mehrere Stunden am Tag aufhalten. Mehrere Regierungen, wie z. B. Frankreich, Israel, Griechenland und die Schweiz, haben Programme zur Messung der Funkfrequenzbelastung eingeführt und bieten einfachen Zugang zu den Daten. In Frankreich zum Beispiel stellt die nationale Frequenzagentur ANFR "Observatoire des Ondes"<sup>257</sup> die HF-Messungen, die mehrmals täglich in verschiedenen Großstädten durchgeführt werden, online zur Verfügung. In Ländern wie Griechenland und Israel gibt es Richtlinien, die die Aufstellung von Mobilfunkmasten ausdrücklich in der Nähe von "sensiblen Gebieten" einschränken, zu denen im Allgemeinen Schulen und/oder Wohnhäuser und Krankenhäuser gehören, und die einen Online-Zugang zu den Strahlungswerten in Echtzeit ermöglichen. In Griechenland wird die Strahlenbelastung in einem Umkreis von 300 m um empfindliche Gebiete noch stärker eingeschränkt. Das chilenische "Antennengesetz"<sup>258</sup> hat Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenbelastung in Gebieten mit dichter Infrastruktur festgelegt und verbietet Sendemasten in der Nähe "empfindlicher Gebiete", zu denen Einrichtungen für Kinder, ältere Menschen und medizinisch beeinträchtigte Personen gehören. Auch hier ist die Überwachung und Durchsetzung in vielen Fällen nicht zuverlässig geregelt.

Auf lokaler Ebene haben zahlreiche Gemeinden in den USA<sup>259</sup> und anderen Ländern<sup>260</sup> Richtlinien zur Beschränkung von Mobilfunkmasten auf Schulgrundstücken erlassen, und viele Gemeinden haben Mobilfunkantennen von Schulgrundstücken entfernt. So hat beispielsweise der Oberste Gerichtshof Indiens eine Entscheidung des Obersten Gerichts des Bundesstaates

Rajasthan bestätigt, wonach Anlagen auf Schulgrundstücken und Spielplätzen entfernt werden müssen.<sup>261</sup>

**M**ehrere Regierungen wie Frankreich, Israel, Griechenland und die Schweiz haben Programme zur Messung von Funkfrequenzen eingeführt und bieten einfachen Zugang zu den Daten. In Frankreich zum Beispiel stellt die nationale Frequenzagentur ANFR "Observatoire des Ondes"<sup>257</sup> die in verschiedenen Städten mehrmals täglich durchgeführten HF Messungen online.

Mehrere Länder konzentrieren sich bei der Überwachung und Beaufsichtigung von Hochfrequenzstrahlung auf den Bereich der Kinder. Das brasilianische Gesetz Nr. 11.934 enthält Vorschriften<sup>262</sup>, die als kritischen Bereich den 50-Meter-Radius um Krankenhäuser, Kliniken, Schulen, Kindertagesstätten und Einrichtungen für ältere Menschen definieren. Die HF-Werte müssen innerhalb von 60 Tagen nach der Erteilung einer Lizenz bewertet und dann regelmäßig neu bewertet werden. Wie Frankreich bietet auch Brasilien eine Online-Karte<sup>263</sup> mit den HF-Messungen des Landes. Griechenlands Nationale Beobachtungsstelle für elektromagnetische Felder<sup>264</sup> verfügt über 500 Sensoren zur Überwachung der HF-Werte in Schulen und anderen sensiblen Bereichen. Weitere Maßnahmen, die international üblich sind, sind in Tabelle 3 aufgeführt.

## Regulierungslücken in den USA

Auf Bundesebene sind in den USA politische Änderungen erforderlich, um zahlreiche Regelungslücken in Bezug auf alle Aspekte der Kontrolle, Überwachung, Messung und Sanierung drahtloser Strahlung zu schließen.

Erstens hat keine Bundesbehörde mit Fachkenntnissen in den Bereichen Gesundheit oder Umwelt die Gesamtheit der wissenschaftlichen Erkenntnisse beachtet, um sicherzustellen, dass die US-Vorschriften diesen angemessen sind. Im Jahr 2021 fällte der U.S. Circuit Court of Appeals for the District of Columbia ein bahnbrechendes Urteil in der Rechtssache Environmental Health Trust et al. vs. FCC<sup>55</sup>, in der die Entscheidung der FCC angefochten wurde, die Grenzwerte für die Exposition von Menschen durch HF-Emissionen von Mobiltelefonen, WLAN und Mobilfunknetzen nicht zu aktualisieren. Das Gericht stellte fest, dass die FCC keine Beweise für eine ordnungsgemäße Prüfung wissenschaftlicher Erkenntnisse vorgelegt und Studien ignoriert hatte, die darauf hinwiesen, dass nicht-thermische Expositionen auf niedrigem Niveau Schäden verursachen könnten, insbesondere bei Kindern. Das Gericht wies daraufhin die FCC an, eine begründete Erklärung zu diesen Fragen abzugeben:

- die Auswirkungen der drahtlosen Strahlung auf Kinder;
- die gesundheitlichen Auswirkungen einer langfristigen Exposition gegenüber HF-Strahlung;
- die Allgegenwärtigkeit drahtloser Geräte und die technologischen Entwicklungen seit der letzten Aktualisierung der FCC-Richtlinien;
- die Testmethoden für die Strahlungsemission von Mobiltelefonen, die Wärmemessungen verwenden und einen Abstand zwischen dem Mobiltelefon und dem Körper zulassen und
- die Auswirkungen von drahtloser Strahlung auf die Umwelt.

Tabelle 3: Internationale Politik zur Erhöhung der Transparenz, zur Sicherstellung der Einhaltung der Vorschriften und zur Verringerung der Strahlung von Mobiltelefonen und HF-Strahlung (Hochfrequenzstrahlung).

Politik	Länderbeispiele
Die öffentlichen HF-Grenzwerte sind strenger als die ICNIRP/FCC-Grenzwerte	Italien, Indien, Israel, Kroatien, Ukraine, Griechenland, China, Russland, Kanada, Schweiz, Belgien, Bosnien-Herzegowina, Luxemburg, Belarus, Georgien, Serbien, Slowenien, Montenegro, Bulgarien, Türkei, Liechtenstein, Tadschikistan, Kasachstan, Usbekistan, Kirgisistan, Moldawien, Kuwait, Republik Moldau, Irak
HF-Überwachungsprogramm für die Einhaltung der Emissionsvorschriften für Mobilfunkmasten/Basisstationen und/oder HF-Expositionen in der Umwelt.	Frankreich, Griechenland, Türkei, Spanien, Rumänien, Serbien, Indien, Israel, Französisch-Polynesien, Kroatien, Bulgarien, Tunesien, Malta, Brasilien, Bahrain, Monaco, Bhutan, Senegal, Vereinigtes Königreich, Australien, Spanien, Österreich, Indien, Israel, Gibraltar, Brüssel, Belgien, Schweiz, Norwegen, Litauen.
Einfache offizielle Ratschläge der Regierung, dass die Öffentlichkeit und/oder Kinder die Exposition durch Mobiltelefone minimieren "sollten".	Vereinigtes Königreich, Russland, Schweiz, Finnland, Irland, Deutschland, Belgien, Griechenland, Israel, Türkei, Singapur, Frankreich, Dänemark, Indien, Österreich, Zypern, Kanada, Italien, Französisch-Polynesien - Maryland U.S. für WLAN in Schools (CEHPAC), Korea, Sri Lanka, Kroatien, Krakau Polen, Resolution des Europäischen Parlaments 1815
Verbot von Handy-Werbung für Kinder	Frankreich, Belgien, Französisch-Polynesien, Russland
Verkaufsverbot für Handys, die für Kleinkinder bestimmt sind	Belgien, Frankreich, Französisch-Polynesien
SAR-Kennzeichnung auf dem Gerät, der Verpackung oder durch den Einzelhändler an der Verkaufsstelle	Frankreich, Israel, Indien, Belgien, Russland, Korea
Die SAR-Werte für Mobiltelefonmodelle werden auf einer leicht zugänglichen Website der Regierung veröffentlicht	Frankreich, Korea, Österreich, Senegal, Deutschland
Marktüberwachungsprogramm für die Einhaltung der SAR-Vorschriften für Mobiltelefone	Frankreich, Kanada
Ein Programm zur Sensibilisierung der Öffentlichkeit, eine solide Website und/oder eine Aufklärungskampagne, um die Öffentlichkeit darüber zu informieren, wie man die HF-Exposition durch Mobiltelefone minimieren kann	Frankreich, Französisch-Polynesien, Israel, Zypern, Israel

Eine weitere kritische Regelungslücke besteht darin, dass es bei der Betrachtung der Emissionen von Mobilfunknetzen keine US-Behörde mit Fachkenntnissen in den Bereichen Gesundheit oder Umwelt gibt, die sich mit geförderten Aktivitäten zu gesundheitlichen Auswirkungen befasst.

Im Gegensatz zu anderen Ländern, die über landesweite Überwachungsprogramme Daten sammeln, gibt es in den USA kein aktives Bundesprogramm für Feldmessungen zur Bewertung, Einhaltung oder Durchsetzung von HF-Emissionen von Mobilfunkmasten und Basisstationen. Der letzte Bericht einer Bundesbehörde über HF-Messungen wurde 1986 von der EPA erstellt.<sup>265</sup> Wenn Unternehmen in den USA den Bau eines Mobilfunkmastes in der Nähe einer Schule oder eines Wohnhauses beantragen, gibt es keine Anforderungen für reale HF-Messungen vor und nach dem Bau der Antennenanlagen und auch keine Anforderungen für jährliche Messungen. Die vom Unternehmen bereitgestellten Computersimulationen liefern geschätzte HF-Werte nicht immer für alle Bereiche, die von der Installation einer Mobilfunkantenne betroffen sind, wie z. B. in einer Wohnung, die eine Wand mit einer am Gebäude montierten Antenne teilt, oder in einem Raum einer Schule oder eines Hauses, der sich in direkter Sichtlinie zum Hauptstrahl einer Antenne befindet. Solche Installationen in unmittelbarer Nähe können zu einer erhöhten HF-Exposition<sup>35,266,267</sup> führen und werden mit verschiedenen EMF-bezogenen Symptomen in Verbindung gebracht.<sup>208,210</sup>

Obwohl mehrere Länder Online-Karten mit den Standorten von Mobilfunkmasten und drahtlosen Einrichtungen sowie HF-Messungen veröffentlichen, werden diese Informationen von den US-Bundesbehörden weder gesammelt noch der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. So müssen beispielsweise drahtlose Kleinzellenanlagen (wie solche auf Masten, die weniger als 50 Fuß [15,24 m] hoch sind, z. B. Straßenlaternen) im Allgemeinen nicht bei der FCC angemeldet werden.

## Internationale Marketing-, Compliance- und Transparenzmaßnahmen

Einige Länder haben eine Reihe von Vorschriften erlassen, um die Exposition von Kindern zu minimieren, die Einhaltung der Vorschriften für Mobiltelefone zu gewährleisten und sicherzustellen, dass die Öffentlichkeit Zugang zu HF-Informationen hat, wie in Tabelle 3 dargestellt. Zum Beispiel hat Frankreich seit 2010 den Verkauf von Mobiltelefonen für Kinder unter 6 Jahren verboten und die Werbung für Mobiltelefone an Kinder unter 14 Jahren untersagt. Im Jahr 2015 wurden die Anforderungen an die Kennzeichnung von Mobiltelefonen verschärft. In der Werbung muss deutlich empfohlen werden, wie die Exposition gegenüber dem Kopf reduziert werden kann, andernfalls drohen den Unternehmen Geldstrafen. 2019 ordnete eine gemeinsame Anordnung der französischen Gesundheits- und Finanzbehörden<sup>268</sup> an, dass die Verbraucherinformationen für Mobiltelefone mehrere spezifische Möglichkeiten zur Verringerung der HF-Belastung des Gehirns sowie zur Minimierung der Nutzungshäufigkeit und -dauer enthalten müssen. Darüber hinaus enthalten die Informationen über Mobiltelefone den Hinweis "Halten Sie Funkgeräte vom Bauch schwangerer Frauen fern" und "vom Unterleib Jugendlicher fern".<sup>269</sup>

Die Vorschriften von 2020<sup>270</sup> schreiben nun vor, dass Computer, Tablets und andere drahtlose Handgeräte (sowie wiederaufbereitete Produkte), die in Körpernähe gehalten werden, denselben Kennzeichnungsvorschriften unterliegen wie Mobiltelefone.

Im Jahr 2022 stellte die französische Generaldirektion für Wettbewerb, Verbraucherfragen und Betrugsbekämpfung zahlreiche Verstöße<sup>271</sup> gegen die Kennzeichnungsvorschriften für drahtlose Geräte fest und sprach über 200 Verwarnungen aus.

Im Jahr 2014 setzte Belgien zwei königliche Erlasse<sup>272</sup> um, die den Verkauf und die Werbung für Mobiltelefone für Kinder unter 7 Jahren verbieten.<sup>273</sup>

## HF-Tests für Mobiltelefone und drahtlose Geräte vor der Markteinführung

Einige Länder wie Frankreich und Kanada führen unabhängige SAR-Messungen von Handymodellen durch, um die Einhaltung der Vorschriften sicherzustellen. Beide Länder haben festgestellt, dass einige Handymodelle die gesetzlichen Grenzwerte überschreiten, selbst wenn sie mit dem vom Hersteller angegebenen Abstand, d. h. 5, 10 oder 15 mm vom Kopf oder Körper entfernt, getestet werden.

Bisher wurden über 35 nicht konforme Handymodelle entweder vom französischen Markt genommen oder mit Software-Updates versehen, um die HF-Strahlung zu senken. Die Französische Nationale Frequenzagentur ANFR stellt ihre unabhängigen SAR-Testmessungen für Hunderte von Mobiltelefonen online zur Verfügung.<sup>274</sup> In den USA gibt es kein Überwachungsprogramm für die Einhaltung der HF-Emissionen von Mobiltelefonen.

Darüber hinaus enthalten alle Mobiltelefone und WLAN-Geräte wie Router, Lautsprecher und Spielkonsolen im Kleingedruckten ihrer Handbücher Anweisungen, dass der Benutzer einen bestimmten Mindestabstand zwischen seinem Körper und dem Mobiltelefon oder Gerät aufrechterhalten sollte, um die Einhaltung der gesetzlichen Sicherheitsgrenzwerte zu gewährleisten.

## Schulen und Kinderbetreuungseinrichtungen

Frankreich, Israel und Regionen in Belgien haben WLAN aus den Klassenzimmern von Kindergärten entfernt und die Exposition in Grundschulklassen eingeschränkt (Siehe Tabelle 4). Das französische Gesetz (2015)<sup>275</sup> schreibt beispielsweise vor, dass WLAN standardmäßig ausgeschaltet sein muss und nur dann eingeschaltet wird, wenn es für eine bestimmte Aktivität im Klassenzimmer benötigt wird. Die Parlamentarische Versammlung des Europarats (PACE) empfiehlt in ihrer Entschließung 1815<sup>276</sup> (2011), "für Kinder im Allgemeinen und insbesondere in Schulen und Klassenzimmern kabelgebundenen Internetverbindungen den Vorzug zu geben und die Nutzung von Mobiltelefonen durch Schulkinder auf dem Schulgelände streng zu regeln."

In den USA gibt es keine spezifischen schul- oder arbeitsplatzbezogenen Bundesvorschriften für HF-Expositionen. Der Bericht des Maryland State Children's Environmental Health and Protection Advisory Council über WLAN in der Schule<sup>277</sup> empfiehlt die Reduzierung der HF-Belastung in Schulen "so weit wie praktisch möglich". Clegg et al.<sup>278</sup> umreißt, wie HF-Strahlung in Gebäuden minimiert werden kann und enthält die Kriterien der Collaborative for High Performance Schools<sup>279</sup> zur Reduzierung von HF-Strahlung und ELF-EMF in Klassenzimmern (siehe Zusammenfassung der Empfehlungen unten).

Tabelle 4: Internationale Beispiele für politische Maßnahmen zur Reduzierung der HF-Exposition in Schulen und Kinderbetreuungseinrichtungen.

<b>Empfehlungen zur Bevorzugung von kabelgebundenen Geräten gegenüber WLAN in Kindergärten und Schulen</b>	Frankreich, Israel, Deutschland, Französisch-Polynesien, Salzburg (Österreich), Maryland (USA).
<b>Verbot von WLAN in Kinderbetreuungseinrichtungen und Kindergärten</b>	Frankreich, Israel, Gent Belgien, Französisch-Polynesien, Zypern
<b>WLAN ausgeschaltet oder minimiert in der Grundschule</b>	Frankreich, Israel, Zypern, verschiedene kommunale Schulbezirke weltweit

**Zu den Empfehlungen der Maryland Expert Advisors to the Governor und der Collaborative For High Performance Schools gehören:**

- Installieren und verwenden Sie ein kabelgebundenes lokales Netzwerk (LAN) für den Internetzugang anstelle von WLAN und verbinden Sie die technischen Geräte in den Klassenzimmern mit Kabeln, wann immer dies möglich ist und immer, wenn Sie bauen oder umgestalten.
- Stellen Sie sicher, dass Geräte (Tablets und Laptops) immer auf einem Schreibtisch und nicht auf dem Schoß verwendet werden.
- Laptops, Tablets und Notebooks sollten über einen Ethernet-Anschluss und einen physischen Schalter verfügen, um alle drahtlosen Funkgeräte gleichzeitig zu deaktivieren.
- Handys sollten während des Schultages ausgeschaltet und weggelegt werden. Drahtlose digitale Armbänder sollten in den Flugmodus versetzt werden.
- Die Verwendung von DECT- und Schnurlostelefonen ist zu verbieten.
- In jedem Klassenzimmer sollten schnurgebundene Telefone installiert sein, und es sollte eine Möglichkeit bestehen, dass die Schüler ihre Eltern kontaktieren und während des Tages zu Planungszwecken mit ihnen telefonieren können.
- Die Schulen sollten die Aufklärung darüber, warum und wie man die HF-Belastung reduzieren kann, in den Lehrplan der Grund-, Mittel- und Oberschulen aufnehmen.
- Mobilfunkmasten und drahtlose Einrichtungen sollten nicht auf oder in der Nähe von Schulgrundstücken errichtet werden.
- Jährliche Messung der ELF- und HF-Werte in Klassenzimmern und Sportbereichen sowie bei der Einführung neuer Technologien in den Klassenzimmern.

**Einstellungen im Gesundheitswesen**

Sowohl kabellose Netzwerke (HF) als auch elektrische medizinische Geräte (ELF-EMF) sind Quellen nicht-ionisierender EMF-Exposition in Krankenhäusern und Einrichtungen des Gesundheitswesens.

Die EMF-Werte in Säuglingsstationen waren aufgrund der erhöhten Exposition einer besonders anfälligen Patientengruppe Gegenstand von Untersuchungen. Messungen von ELF in Inkubatoren können zwischen 2 und 100 mG (Anmerkung: gleich 0,2

und 10 µT) liegen, je nach Abstand von der Oberseite der Matratze zu den elektrischen Geräten.<sup>280</sup> Nachdem Forscher des Penn State Medical Centers höhere niederfrequente EMF-Werte in geschlossenen Inkubatoren im Vergleich zu den Umgebungswerten im Raum dokumentiert hatten, mäßigten sie die Exposition durch eine Erdungstechnik und stellten fest, dass die Minderung den Vagusnervtonus der Säuglinge, einen Marker für Stressanfälligkeit, und das Risiko der Entwicklung einer nekrotisierenden Enterokolitis verbesserte.<sup>281</sup> Hochfrequenzstrahlung in neonatalen Intensivstationen wird hauptsächlich durch die Nutzung von Mobiltelefonen und drahtlosen Geräten durch das Personal und die Familien verursacht. Da diese Neugeborenen besonders gefährdet sind, wird eine umsichtige Vermeidungsstrategie empfohlen.<sup>282</sup>

Im Jahr 2017 wurden in Israel auf Ersuchen des Gesundheitsministeriums und des Ministeriums für Umweltschutz<sup>283</sup> Messungen der Magnetfeld-EMF von Inkubatoren auf Säuglingsstationen durchgeführt, die einen Bereich von 0,05 bis 5 µT ergaben. Das israelische Umweltschutzministerium hat von den Herstellern zugelassene effiziente Abschirmungsmethoden zur Verringerung der Exposition in Brutkästen ermittelt und empfiehlt, die Dauer der Exposition so weit wie möglich zu reduzieren und vorrangig Brutkästen mit niedrigen EMF-Werten zu verwenden.

In Zypern arbeitete das Nationale Komitee für Umwelt und Kindergesundheit unter der Schirmherrschaft des Gesundheitsministeriums mit dem Erzbischof-Makarios-III-Krankenhaus zusammen, um in der pädiatrischen Intensivtherapiestation und den Säuglingsabteilungen ein Pilotprogramm zur Verringerung der HF-Belastung durchzuführen<sup>284</sup>. Sie entfernten die WLAN-Zugangspunkte, installierten kabelgebundene LAN-Netzwerke und starteten ein Multimedia-Aufklärungsprogramm für Familien. Die HF-Werte wurden vor und nach der Verringerung gemessen, und die Maßnahmen führten zu einer deutlichen Verringerung der Umgebungsbelastung in den Stationen.

Das Agaplesion Diakonie-Krankenhaus in Hamburg, Deutschland, hat zwei "Umwelt"-Räume für Menschen mit multiplen chemischen Empfindlichkeiten und/oder Umweltallergien einschließlich der Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern eingerichtet. Neben der Verwendung von Baumaterialien mit geringen VOC (flüchtige organische Verbindungen) - Emissionen und duftstofffreien Reinigungsmitteln wurden mehrere Maßnahmen ergriffen, um die Exposition gegenüber nicht-ionisierenden elektromagnetischen Feldern zu verringern, darunter die Installation von Leistungsschaltern und das Verbot der Nutzung von Mobiltelefonen.<sup>285</sup>

**Empfehlungen für Einrichtungen des Gesundheitswesens zur Minimierung der Exposition, zur Unterstützung positiver Gesundheitsergebnisse sowie zur Berücksichtigung von Patienten mit Empfindlichkeiten:**<sup>13,83,197,199,215,275,281</sup>

- Verringern der HF-Belastung in pädiatrischen Einrichtungen des Gesundheitswesens, einschließlich Wartezimmern, Behandlungsbereichen, Krankenhauszimmern und Verwaltungsbereichen, indem Sie kabelgebundenen Verbindungen Vorrang einräumen und Router auf die niedrigste Betriebsstufe einstellen;
- Sicherstellen, dass die Einrichtungen über Räume mit angemessenem EMF-Schutz für die Behandlung von empfindlichen Patienten verfügen;
- Aufklärung von Patienten, Familien und Personal;

- Verwendung von medizinischen Geräten, Ausrüstungen und Technologien, die ohne drahtlose Funktionen konzipiert sind oder so konfiguriert sind, dass drahtlose Verbindungen nicht unbedingt erforderlich sind und bei Nichtgebrauch ausgeschaltet werden können und
- Zusammenarbeit mit Unternehmen bei der Erforschung und Entwicklung von sichereren Technologien.

## **Schlussfolgerung: Nächste Schritte für Mediziner, um junge Menschen besser vor den Auswirkungen von HF-Strahlung zu schützen**

Die moderne Telekommunikation wurde wegen ihrer zahllosen Vorteile für die Gesellschaft bereitwillig begrüßt, aber wir haben allmählich zugegeben, dass es notwendig ist, Schäden für Kinder oder die natürliche Welt, von der unser Leben abhängt, zu vermeiden und zu verringern.<sup>286</sup> Glücklicherweise können Alternativen zum Einsatz drahtloser Geräte eine sicherere, schnellere und effizientere technische Leistung für viele moderne Anwendungen bieten. Es gibt viele eindeutige physische, psychologische und soziologische Gründe dafür, die Bildschirmzeit von Kindern zu begrenzen, um eine gesunde Entwicklung zu fördern. Der ALARA-Grundsatz - so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar - sollte als Strategie für den Schutz der Gesundheit und der Sicherheit vor HF-Strahlung übernommen werden.

Während solche Maßnahmen in Arztpraxen, Kliniken und dergleichen umgesetzt werden, besteht ein dringender Bedarf an einem unabhängig finanzierten Ausbildungs-, Forschungs- und Überwachungsprogramm, um wesentliche Datenlücken in diesem Bereich zu ermitteln, um entsprechende Prioritäten für Forschung und Ausbildung zu setzen und um Langzeitstudien über die physischen und psychologischen Auswirkungen des sich schnell verändernden technologischen Umfelds durchzuführen, einschließlich der Möglichkeiten, die Auswirkungen durch Änderungen an Hard- und Software zu mildern.

Der medizinischen Gemeinschaft kommt bei der Vorbeugung und Behandlung von EMF-bedingten Krankheiten eine entscheidende Rolle zu. Ärzte und andere Angehörige der Gesundheitsberufe können u.a. folgende Schritte unternehmen:

- Auf Bundesebene: Setzen Sie sich gemeinsam mit der AAP und anderen Fachleuten des Gesundheitswesens für eine Neubewertung der Grenzwerte für die HF-Belastung und die Entwicklung von Normen ein, die die biologischen Auswirkungen, die Anfälligkeit von Kindern und die derzeitigen Nutzungsmuster angemessen berücksichtigen.
- Auf staatlicher Ebene: Engagieren Sie Ihre Mitglieder mit Aufklärungs- und Schulungsaktivitäten sowie mit Resolutionen zur Unterstützung von Bundesinitiativen.
- Unterstützung von Maßnahmen zur Verringerung der EMF-Belastung von Kindern zu Hause, in der Kinderbetreuung, in der Schule, im Gesundheitswesen und in Freizeiteinrichtungen.
- Unterstützung der kontinuierlichen Entwicklung klinischer Leitlinien für die Prävention, Behandlung und Diagnose von EMF-bedingten Erkrankungen.

## Referenzen

1. McInerney T.K. Letter from President of the American Academy of Pediatrics, Thomas K. McInerney, MD, FAAP to the FCC. August 2013.
2. CDC. ALARA - As Low as Reasonably Achievable. Centers for Disease Control and Prevention; 2022 <https://www.cdc.gov/nceh/radiation/alara.html>. Published May 18. Accessed January 24, 2023.
3. Council on Communications and Media, Hill D, Ameenuddin N, et al. Media and young minds. *Pediatrics* 2016;138(5):e20162591. <https://doi.org/10.1542/peds.2016-2591>.
4. AACAP. Screen Time and Children. American Academy of Child & Adolescent Psychiatry; 2020 [https://www.aacap.org/AACAP/Families\\_and\\_Youth/Facts\\_for\\_Families/FFFGuide/Children-And-Watching-TV-054](https://www.aacap.org/AACAP/Families_and_Youth/Facts_for_Families/FFFGuide/Children-And-Watching-TV-054). Accessed January 24, 2023. Published February.
5. McClain C. How parents' views of their kids' screen time, social media use changed during COVID-19. Pew Res Cent. <https://www.pewresearch.org/fact-tank/2022/04/28/how-parents-views-of-their-kids-screen-time-social-media-use-changed-during-covid-19/>. Accessed January 10, 2023.
6. American Psychiatric Association, Sherer J. Internet Gaming. <https://www.psychiatry.org/443/patients-families/internet-gaming>. Published January 2023. Accessed January 24, 2023.
7. Belpomme D, Hardell L, Belyaev I, Burgio E, Carpenter DO. Thermal and non-thermal health effects of low intensity nonionizing radiation: An international perspective. *Environ Pollut* 2018;242:643–58. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.019>.
8. Belyaev I, Blackman C, Chamberlin K, et al. Scientific evidence invalidates health assumptions underlying the FCC and ICNIRP exposure limit determinations for radiofrequency radiation: implications for 5G. *Environ Health* 2022;21(1):92. <https://doi.org/10.1186/s12940-022-00900-9>.
9. English K, Lau C, Jagals P. The unique vulnerabilities of children to environmental hazards. In: Xia Y, ed. *Early-Life Environmental Exposure and Disease: Facts and Perspectives*, Singapore: Springer, 2020. pp. 103–12. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-3797-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-15-3797-4_6).
10. International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP). ICNIRP. <https://www.icnirp.org/en/abouticnirp/aim-status-history/index.html>.
11. IEEE - The world's largest technical professional organization dedicated to advancing technology for the benefit of humanity. <https://www.ieee.org/>. Accessed January 25, 2023.
12. Who We Are. *Int Comm Biol Eff Electromagn Fields*. <https://icbemf.org/who-we-are/>. Accessed January 25, 2023.
13. McCredden JE, Cook N, Weller S, Leach V. Wireless technology is an environmental stressor requiring new understanding and approaches in health care. *Front Public Health* 2022;10 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2022.986315>. Accessed January 25, 2023.
14. Oceania Radiofrequencyscientific Advisory Association (ORSAA). <https://www.orsaa.org/>. Accessed January 25, 2023.
15. Panagopoulos DJ, ed. *Electromagnetic Fields of Wireless Communications: Biological and Health*, 1st ed., Boca Raton: CRC Press, 2022 <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/9781003201052/electromagnetic-fields-wirelesscommunications-biological-health-effects-dimitris-panagopoulos>. Accessed January 25, 2023.
16. Lin JC. Carcinogenesis from chronic exposure to radio-frequency radiation. *Front Public Health* 2022;10 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2022.1042478>. Accessed January 10, 2023.
17. Hampshire DP. A derivation of Maxwell's equations using the Heaviside notation. *Philos Transact A Math Phys Eng Sci* 2018;376(2134):20170447. <https://doi.org/10.1098/rsta.2017.0447>.
18. Maxwell J.C. VIII. A dynamical theory of the electromagnetic field. *Philos Trans R Soc Lond* 1865;155:459–512. <https://doi.org/10.1098/rstl.1865.0008>.
19. Bryant JH. Heinrich Hertz's experiments and experimental apparatus: his discovery of radio waves and his delineation of their properties. In: Baird D, Hughes RIG, Nordmann A, (eds). *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*. Boston Studies in the Philosophy of Science, Dordrecht: Springer Netherlands, 1998. pp. 39–58. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-8855-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-015-8855-3_4).
20. Hertz H. Ueber sehr schnelle elektrische Schwingungen. *Ann Phys* 1887;267(7):421–48. <https://doi.org/10.1002/andp.18872670707>.
21. *Texte A des inscriptions et belles lettres (France) A du. Le Journal des Savants*. Gallica; 1676 <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k56527v> Published. Accessed January 31, 2023.
22. Hellemans A. *The Timetables of Science*. Simon and Schuster; 1988 [http://archive.org/details/timetablesofscie00hell\\_0](http://archive.org/details/timetablesofscie00hell_0). Accessed January 21, 2023.
23. Mullenders LHF. Solar UV damage to cellular DNA: from mechanisms to biological effects. *Photochem Photobiol Sci Off J Eur Photochem Assoc Eur Soc Photobiol* 2018;17(12):1842–52. <https://doi.org/10.1039/c8pp00182k>.
24. Kemper AR, Newman TB, Slaughter JL, et al. Clinical practice guideline revision: management of hyperbilirubinemia in the newborn infant 35 or more weeks of gestation. *Pediatrics* 2022;150(3):e2022058859. <https://doi.org/10.1542/peds.2022-058859>.
25. Wahl S, Engelhardt M, Schaupp P, Lappe C, Ivanov IV. The inner clock - Blue light sets the human rhythm. *J Biophotonics* 2019;12(12):e201900102. <https://doi.org/10.1002/jbio.201900102>.
26. Hugh A. *The Continuous Wave*. Princeton, USA: Princeton Legacy Library; 2016 <https://press.princeton.edu/books/hardcover/9780691639680/the-continuous-wave>. Accessed January 21, 2023.
27. ECSTUFF4U for Electronics Engineer. <https://www.ecstuff4u.com/>. Accessed January 24, 2023.
28. Carter C. How the Camillagate Tapes were Revealed to the Rest of the World. *Mirror*; 2017 <http://www.mirror.co.uk/news/uk-news/how-camillagate-tapes-exposed-secret-10958350>. Published August 9. Accessed January 23, 2023.
29. Levitt BB, Lai HC, Manville AM. Low-level EMF effects on wildlife and plants: What research tells us about an ecosystem approach. *Front Public Health* 2022;10 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2022.1000840>. Accessed January 23, 2023.
30. Harris A, Cooper M. Mobile phones: impacts, challenges, and predictions. *Hum Behav Emerg Technol* 2019;1(1):15–7. <https://doi.org/10.1002/hbe2.112>.
31. Bandara P, Carpenter DO. Planetary electromagnetic pollution: it is time to assess its impact. *Lancet Planet Health* 2018;2(12):e512–4. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30221-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30221-3).
32. Lopez-Perez D, De Domenico A, Piovesan N, et al. A Survey on 5G radio access network energy efficiency: massive MIMO, lean carrier design, sleep modes, and machine learning. *IEEE Commun Surv Tutor* 2022;24(1):653–97. <https://doi.org/10.1109/COMST.2022.3142532>.
33. El-Hajj AM, Naous T. Radiation analysis in a gradual 5G network deployment strategy. In: *2020 IEEE 3rd 5G World Forum (5GWF)*; 2020. p. 448–53. <https://doi.org/10.1109/5GWF49715.2020.9221314>.

34. Bonato M, Dossi L, Fiocchi S, et al. Computational assessment of RF exposure levels due to 5G mobile phones. In: 2022 Microwave Mediterranean Symposium (MMS); 2022.p. 1–4. <https://doi.org/10.1109/MMS55062.2022.9825603>.
35. Koppel T, Ahonen M, Carlberg M, Hedendahl LK, Hardell L. Radio-frequency radiation from nearby mobile phone base stations—a case comparison of one low and one high exposure apartment. *Oncol Lett* 2019;18(5):5383–91. <https://doi.org/10.3892/ol.2019.10899>.
36. Patricio S, Correia LM, Gomes M. Influence of active antennas on EMF restrictions in 5G base stations deployment. In: 2022 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (AP-S/URSI); 2022. p. 1280–1. <https://doi.org/10.1109/AP-S/USNC-URSI47032.2022.9886131>.
37. Mazloum T, Aerts S, Joseph W, Wiart J. RF-EMF exposure induced by mobile phones operating in LTE small cells in two different urban cities. *Ann Telecommun* 2019;74(1):35–42. <https://doi.org/10.1007/s12243-018-0680-1>.
38. IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to electric, magnetic, and electromagnetic fields, 0 Hz to 300 GHz. In: IEEE Std C951-2019 Revis IEEE Std C951-2005 Inc IEEE Std C951-2019Cor 1-2019; October 2019. p. 1–312. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2019.8859679>.
39. Beard BB, Kainz W. Review and standardization of cell phone exposure calculations using the SAM phantom and anatomically correct head models. *Biomed Eng OnLine* 2004;3(1):34. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-3-34>.
40. Lee AK, Hong SE, Choi HD. Is the SAM phantom conservative for SAR evaluation of all phone designs? *ETRI J* 2019;41(3):337–47. <https://doi.org/10.4218/etrij.2018-0231>.
41. Gordon C., Churchill T., Clauser C., et al. Anthropometric Survey of U.S. Army Personnel: Summary Statistics, Interim Report for 1988. January 1989.
42. Gandhi OP, Morgan LL, de Salles AA, Han YY, Herberman RB, Davis DL. Exposure Limits: The underestimation of absorbed cell phone radiation, especially in children. *Electromagn Biol Med* 2012;31(1):34–51. <https://doi.org/10.3109/15368378.2011.622827>.
43. Christ A, Gosselin MC, Christopoulou M, Kéuhn S, Kuster N. Age-dependent tissue-specific exposure of cell phone users. *Phys Med Biol* 2010;55(7):1767–83. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/55/7/001>.
44. Mumford WW. Some Technical Aspects of Microwave Radiation Hazards. *Proc IRE* 1961;49(2):427–47. <https://doi.org/10.1109/JRPROC.1961.287804>.
45. Steneck NH, Cook HJ, Vander AJ, Kane GL. The origins of U.S. safety standards for microwave radiation. *Science* 1980;208(4449):1230–7. <https://doi.org/10.1126/science.6990492>.
46. Shore M. Review of the Ten-Milliwatt per Square Centimeter Microwave Standard. A Decade of Progress. Harrisburg Pennsylvania: U.S. Department of Health, Education, and Welfare; 1978. p. 32–9.
47. 47 CFR x 1.1310 - Radiofrequency radiation exposure limits.; 2020. <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/47/1.1310>. Accessed January 24, 2023.
48. Repacholi MH. A history of the international commission on non-ionizing radiation protection. *Health Phys* 2017;113(4):282–300. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000000699>.
49. Melnick R. Regarding ICNIRP'S evaluation of the national toxicology program's carcinogenicity studies on radiofrequency electromagnetic fields. *Health Phys* 2020;118(6):678–82. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001268>.
50. Buchner K., Rivasi M.. The International Commission on Non-ionizing Radiation Protection: Conflicts of Interest, Corporate Capture and the Push for 5G. This Rep Was Comm Coord Publ Two Memb Eur Parliam \_Mich\_e Rivasi Eur \_ Ecologie Klaus Buchner € Okol-Demokr Part Financ GreensEfaGroup Eur Parliam. June 2020:98. <https://klausbuchner.eu/wp-content/uploads/2020/06/ICNIRP-report-FINAL-19-JUNE-2020.pdf>.
51. Hardell L, Carlberg M. [Comment] Health risks from radiofrequency radiation, including 5G, should be assessed by experts with no conflicts of interest. *Oncol Lett* 2020;20(4):1.. <https://doi.org/10.3892/ol.2020.11876-1>.
52. Carpenter DO, Sage C. Setting prudent public health policy for electromagnetic field exposures. *Rev Environ Health* 2008;23(2):91–118. <https://doi.org/10.1515/REVEH.2008.23.2.91>.
53. FCC Maintains Current RF Exposure Safety Standards. Federal Communications Commission. <https://www.fcc.gov/document/fcc-maintains-current-rf-exposure-safety-standards>. Published December 4, 2019. Accessed April 11, 2020.
54. Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields and Reassessment of FCC Radiofrequency Exposure Limits and Policies. Federal Register. <https://www.federalregister.gov/documents/2020/04/01/2020-02745/human-exposure-to-radiofrequency-electromagnetic-fields-and-reassessment-of-fcc-radiofrequency>. Published April 1, 2020. Accessed January 23, 2023.
55. No. 20-1025 ENVIRONMENTAL HEALTH TRUST, ET AL., PETITIONERS v. FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION AND UNITED STATES OF AMERICA, RESPONDENTS Consolidated with 20-1138. (United States Court of Appeals for the District of Columbia Circuit 2012). <https://www.cad.uscourts.gov/internet/opinions.nsf/FB976465BF00F8BD85258730004EFD7F?file/20-1025-1910111.pdf>.
56. The International EMF Project. <https://www.who.int/initiatives/the-international-emf-project>. Accessed January 24, 2023.
57. World Health Organization. The International EMF Project. Participating Countries & Entities. <https://www.who.int/initiatives/the-international-emf-project/participatingcountries-entities>. Accessed February 1, 2023.
58. World Health Organization. Electromagnetic Fields and Public Health. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/radiation-and-health/non-ionizing/emf/radiofrequency-fields>. Accessed January 24, 2023.
59. Mercer D. The WHO EMF Project: legitimating the imaginary of global harmonization of EMF safety standards. *Engag Sci Technol Soc* 2016;2:88–105. <https://doi.org/10.17351/ests2016.41>.
60. Hardell L. World Health Organization, radiofrequency radiation and health - a hard nut to crack (Review). *Int J Oncol* 2017;51(2):405–13. <https://doi.org/10.3892/ijo.2017.4046>.
61. IARC. Press Release N° 208 IARC classifies Radiofrequency Electromagnetic Fields as possibly carcinogenic to humans. 2011. [https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr208\\_E.pdf](https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr208_E.pdf).
62. Lai H, Levitt BB. The roles of intensity, exposure duration, and modulation on the biological effects of radiofrequency radiation and exposure guidelines. *Electromagn Biol Med* 2022;41(2):230–55. <https://doi.org/10.1080/15368378.2022.2065683>.
63. Barnes F, Freeman JER. Some thoughts on the possible health effects of electric and magnetic fields and exposure guidelines. *Front Public Health* 2022;10 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2022.994758>. Accessed January 25, 2023.
64. Gonzalez-Gutierrez MD, Lopez-Garrido A, Cortes-Perez I, Obrero-Gaitan E, Leon-Morillas F, Ibanez-Vera AJ. Effects of non-invasive radiofrequency diathermy in pelvic floor disorders: a systematic review. *Medicina (Mex)* 2022;58(3):437. <https://doi.org/10.3390/medicina58030437>.

65. Halliday D, Resnick R, Walker J. *Fundamentals of Physics, Volume 2*. 12th edition Wiley; 2021.
66. Yoshimura T, Mineki S, Ohuchi S. Microwave-assisted enzymatic reactions. *Microwaves in Catalysis*. John Wiley & Sons, Ltd; 2015. p. 213–38. <https://doi.org/10.1002/9783527688111.ch11>.
67. Lai H. Exposure to static and extremely-low frequency electromagnetic fields and cellular free radicals. *Electromagn Biol Med* 2019;38(4):231–48. <https://doi.org/10.1080/15368378.2019.1656645>.
68. Desai NR, Kesari KK, Agarwal A. Pathophysiology of cell phone radiation: oxidative stress and carcinogenesis with focus on male reproductive system. *Reprod Biol Endocrinol RBE* 2009;7:114. <https://doi.org/10.1186/1477-7827-7-114>.
69. Luo J, Li H, Deziel NC, et al. Genetic susceptibility may modify the association between cell phone use and thyroid cancer: a population-based case-control study in Connecticut. *Environ Res* 020;182:109013. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109013>.
70. Pall ML. Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. *J Cell Mol Med* 2013;17(8):958–65. <https://doi.org/10.1111/jcmm.12088>.
71. Smith-Roe SL, Wyde ME, Stout MD, et al. Evaluation of the genotoxicity of cell phone radiofrequency radiation in male and female rats and mice following subchronic exposure. *Environ Mol Mutagen* 2020;61(2):276–90. <https://doi.org/10.1002/em.22343>.
72. Panagopoulos DJ, Karabarbounis A, Yakymenko I, Chrousos GP. Human-made electromagnetic fields: Ion forced-oscillation and voltage-gated ion channel dysfunction, oxidative stress and DNA damage (Review). *Int J Oncol* 2021;59(5):1–16. <https://doi.org/10.3892/ijo.2021.5272>.
73. Panagopoulos DJ, Messini N, Karabarbounis A, Philippetis AL, Margaritis LH. A mechanism for action of oscillating electric fields on cells. *Biochem Biophys Res Commun* 2000;272(3):634–40. <https://doi.org/10.1006/bbrc.2000.2746>.
74. Zhou L, Zhang Z, Huang Z, Nice E, Zou B, Huang C. Revisiting cancer hallmarks: insights from the interplay between oxidative stress and non-coding RNAs. *Mol Biomed* 2020;1:4. <https://doi.org/10.1186/s43556-020-00004-1>.
75. Emerit J, Edeas M, Bricaire F. Neurodegenerative diseases and oxidative stress. *Biomed Pharmacother Biomedecine Pharmacother* 2004;58(1):39–46. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2003.11.004>.
76. Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, Henshel D, Kyrylenko O, Kyrylenko S. Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. *Electromagn Biol Med* 2016;35(2):186–202. <https://doi.org/10.3109/15368378.2015.1043557>.
77. Schuermann D, Mevissen M. Manmade electromagnetic fields and oxidative stress—biological effects and consequences for health. *Int J Mol Sci* 2021;22(7):3772. <https://doi.org/10.3390/ijms22073772>.
78. Miller AB, Sears ME, Morgan LL, et al. Risks to health and well-being from radio-frequency radiation emitted by cell phones and other wireless devices. *Front Public Health* 2019;7 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2019.00223>. Accessed January 10, 2023.
79. Moon JH. Health effects of electromagnetic fields on children. *Clin Exp Pediatr* 2020;63(11):422–8. <https://doi.org/10.3345/cep.2019.01494>.
80. Redmayne M, Johansson O. Radiofrequency exposure in young and old: different sensitivities in light of age-relevant natural differences. *Rev Environ Health* 2015;30(4):323–35. <https://doi.org/10.1515/revh-2015-0030>.
81. Sage C, Burgio E. Electromagnetic fields, pulsed radiofrequency radiation, and epigenetics: how wireless technologies may affect childhood development. *Child Dev* 2018;89(1):129–36. <https://doi.org/10.1111/cdev.12824>.
82. Fernandez C, de Salles AA, Sears ME, Morris RD, Davis DL. Absorption of wireless radiation in the child versus adult brain and eye from cell phone conversation or virtual reality. *Environ Res* 2018;167:694–9. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.05.013>.
83. Peyman A. Dielectric properties of tissues; variation with age and their relevance in exposure of children to electromagnetic fields; state of knowledge. *Prog Biophys Mol Biol* 2011;107(3):434–8. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2011.08.007>.
84. Hussein M, Awwad F, Jithin D, El Hasasna H, Athamneh K, Itratni R. Breast cancer cells exhibits specific dielectric signature in vitro using the open-ended coaxial probe technique from 200 MHz to 13.6 GHz. *Sci Rep* 2019;9(1):4681. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41124-1>.
85. Jimenez H, Blackman C, Lesser G, et al. Use of non-ionizing electromagnetic fields for the treatment of cancer. *Front Biosci Landmark Ed* 2018;23(2):284–97. <https://doi.org/10.2741/4591>.
86. Julvez J, Paus T, Bellinger D, et al. Environment and brain development: challenges in the global context. *Neuroepidemiology* 2016;46(2):79–82. <https://doi.org/10.1159/000442256>.
87. Redmayne M, Johansson O. Could myelin damage from radiofrequency electromagnetic field exposure help explain the functional impairment electrohypersensitivity? A review of the evidence. *J Toxicol Environ Health Part B* 2014;17(5):247–58. <https://doi.org/10.1080/10937404.2014.923356>.
88. Markova E, Malmgren LOG, Belyaev IY. Microwaves from mobile phones inhibit 53BP1 focus formation in human stem cells more strongly than in differentiated cells: possible mechanistic link to cancer risk. *Environ Health Perspect* 2010;118(3):394–9. <https://doi.org/10.1289/ehp.0900781>.
89. Yahyazadeh A, Deniz ÖG, Kaplan AA, Altun G, Yurt KK, Davis D. The genomic effects of cell phone exposure on the reproductive system. *Environ Res* 2018;167:684–93. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.05.017>.
90. Gye MC, Park CJ. Effect of electromagnetic field exposure on the reproductive system. *Clin Exp Reprod Med* 2012;39(1):1–9. <https://doi.org/10.5653/cerm.2012.39.1.1>.
91. Jangid P, Rai U, Sharma RS, Singh R. The role of non-ionizing electromagnetic radiation on female fertility: a review. *Int J Environ Health Res* 2022;0(0):1–16. <https://doi.org/10.1080/09603123.2022.2030676>.
92. Maluin SM, Osman K, Jaffar FHF, Ibrahim SF. Effect of radiation emitted by wireless devices on male reproductive hormones: a systematic review. *Front Physiol* 2021;12 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2021.732420>. Accessed January 10, 2023.
93. Agarwal A, Desai NR, Makker K, et al. Effects of radiofrequency electromagnetic waves (RF-EMW) from cellular phones on human ejaculated semen: an in vitro pilot study. *Fertil Steril* 2009;92(4):1318–25. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2008.08.022>.
94. Negi P, Singh R. Association between reproductive health and nonionizing radiation exposure. *Electromagn Biol Med* 2021;40(1):92–102. <https://doi.org/10.1080/15368378.2021.1874973>.
95. Adams JA, Galloway TS, Mondal D, Esteves SC, Mathews F. Effect of mobile telephones on sperm quality: a systematic review and meta-analysis. *Environ Int* 2014;70:106–12. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.04.015>.
96. Kim S, Han D, Ryu J, Kim K, Kim YH. Effects of mobile phone usage on sperm quality \_ No time-dependent relationship on usage: A systematic review and updated meta-analysis. *Environ Res* 2021;202:111784. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111784>.

97. Yu G, Bai Z, Song C, et al. Current progress on the effect of mobile phone radiation on sperm quality: An updated systematic review and meta-analysis of human and animal studies. *Environ Pollut* 2021;282:116952. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116952>.
98. Yadav H, Rai U, Singh R. Radiofrequency radiation: A possible threat to male fertility. *Reprod Toxicol* 2021;100:90–100. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2021.01.007>.
99. Kesari KK, Agarwal A, Henkel R. Radiations and male fertility. *Reprod Biol Endocrinol RBE* 2018;16(1):118. <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0431-1>.
100. Krzastek SC, Farhi J, Gray M, Smith RP. Impact of environmental toxin exposure on male fertility potential. *Transl Androl Urol* 2020;9(6):2797–813. <https://doi.org/10.21037/tau-20-685>.
101. Houston BJ, Nixon B, King BV, Iulius GND, Aitken RJ. The effects of radiofrequency electromagnetic radiation on sperm function. *Reproduction* 2016;152(6):R263–76. <https://doi.org/10.1530/REP-16-0126>.
102. Santini SJ, Cordone V, Falone S, et al. Role of mitochondria in the oxidative stress induced by electromagnetic fields: focus on reproductive systems. *Oxid Med Cell Longev* 2018;2018:e5076271. <https://doi.org/10.1155/2018/5076271>.
103. Alchalabi ASH, Rahim H, Aklilu E, et al. Histopathological changes associated with oxidative stress induced by electromagnetic waves in rats' ovarian and uterine tissues. *Asian Pac J Reprod* 2016;5(4):301–10. <https://doi.org/10.1016/j.apjr.2016.06.008>.
104. Bozok S, Karaagac E, Sener D, Akakin D, Tumkaya L. The effects of long-term prenatal exposure to 900, 1800, and 2100 MHz electromagnetic field radiation on myocardial tissue of rats. *Toxicol Ind Health* 2023;39(1):1–9. <https://doi.org/10.1177/07482337221139586>.
105. Cirillo PM, La Merrill MA, Krigbaum NY, Cohn BA. Grandmaternal perinatal serum DDT in relation to granddaughter early menarche and adult obesity: three generations in the child health and development studies cohort. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2021;30(8):1480–8. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-20-1456>.
106. Davis DL, Friedler G, Mattison D, Morris R. Male-mediated teratogenesis and other reproductive effects: Biologic and epidemiologic findings and a plea for clinical research. *Reprod Toxicol* 1992;6(4):289–92. [https://doi.org/10.1016/0890-6238\(92\)90190-5](https://doi.org/10.1016/0890-6238(92)90190-5).
107. Sepehrimanesh M, Kazemipour N, Saeb M, Nazifi S, Davis DL. Proteomic analysis of continuous 900-MHz radiofrequency electromagnetic field exposure in testicular tissue: a rat model of human cell phone exposure. *Environ Sci Pollut Res Int* 2017;24(15):13666–73. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8882-z>.
108. Haghani M, Pouladvand V, Mortazavi SMJ, Razavinasab M, Bayat M, Shabani M. Exposure to electromagnetic field during gestation adversely affects the electrophysiological properties of purkinje cells in rat offspring. *J Biomed Phys Eng* 2020;10(4):433–40. <https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.560>.
109. Kaplan S, Deniz OG, Önger ME, et al. Electromagnetic field and brain development. *J Chem Neuroanat* 2016;75:52–61. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2015.11.005>.
110. Hu C, Zuo H, Li Y. Effects of radiofrequency electromagnetic radiation on neurotransmitters in the brain. *Front Public Health* 2021;9:691880. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.691880>.
111. Odaci E, Bas O, Kaplan S. Effects of prenatal exposure to a 900 MHz electromagnetic field on the dentate gyrus of rats: a stereological and histopathological study. *Brain Res* 2008;1238:224–9. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.08.013>.
112. Sahin A, Aslan A, Bas O, et al. Deleterious impacts of a 900-MHz electromagnetic field on hippocampal pyramidal neurons of 8-week-old Sprague Dawley male rats. *Brain Res* 2015;1624:232–8. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.07.042>.
113. Bas O, Odaci E, Kaplan S, Acer N, Ucok K, Colakoglu S. 900 MHz electromagnetic field exposure affects qualitative and quantitative features of hippocampal pyramidal cells in the adult female rat. *Brain Res* 2009;1265:178–85. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.02.011>.
114. Li DK, Chen H, Ferber JR, Odouli R, Quesenberry C. Exposure to magnetic field non-ionizing radiation and the risk of miscarriage: a prospective cohort study. *Sci Rep* 2017;7(1):17541. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16623-8>.
115. Li DK, Ferber JR, Odouli R, Quesenberry CP. A prospective study of in-utero exposure to magnetic fields and the risk of childhood obesity. *Sci Rep* 2012;2(1):540. <https://doi.org/10.1038/srep00540>.
116. Li DK, Chen H, Odouli R. Maternal exposure to magnetic fields during pregnancy in relation to the risk of asthma in offspring. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2011;165(10):945–50. <https://doi.org/10.1001/archpediatrics.2011.135>.
117. Li DK, Chen H, Ferber JR, Hirst AK, Odouli R. Association between maternal exposure to magnetic field nonionizing radiation during pregnancy and risk of attention-deficit/hyperactivity disorder in offspring in a longitudinal birth cohort. *JAMA Netw Open* 2020;3(3):e201417. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.1417>.
118. Su XJ, Yuan W, Tan H, et al. Correlation between exposure to magnetic fields and embryonic development in the first trimester. *PLOS ONE* 2014;9(6):e101050. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101050>.
119. Myruski S, Gulyayeva O, Birk S, Perez-Edgar K, Buss KA, Ta D-T. Digital disruption? Maternal mobile device use is related to infant social-emotional functioning. *Dev Sci* 2018;21(4):e12610. <https://doi.org/10.1111/desc.12610>.
120. Divan HA, Kheifets L, Obel C, Olsen J. Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children. *Epidemiol Camb Mass* 2008;19(4):523–9. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e318175dd47>.
121. Divan HA, Kheifets L, Obel C, Olsen J. Cell phone use and behavioural problems in young children. *J Epidemiol Community Health* 2012;66(6):524–9. <https://doi.org/10.1136/jech.2010.115402>.
122. Papadopoulou E, Haugen M, Schjøllberg S, et al. Maternal cell phone use in early pregnancy and child's language, communication and motor skills at 3 and 5 years: the Norwegian mother and child cohort study (MoBa). *BMC Public Health* 2017;17:685. <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4672-2>.
123. Foerster M., Thielens A., Joseph W., Eeftens M., Rösli M. A prospective cohort study of adolescents' memory performance and individual brain dose of microwave radiation from wireless communication. *Environ Health Perspect*. 126(7):077007. doi:10.1289/EHP2427
124. Schoeni A, Roser K, Rösli M. Memory performance, wireless communication and exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A prospective cohort study in adolescents. *Environ Int* 2015;85:343–51. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.025>.
125. Fragopoulou AF, Miltiadous P, Stamatakis A, Stylianopoulou F, Koussoulakos SL, Margaritis LH. Whole body exposure with GSM 900 MHz affects spatial memory in mice. *Pathophysiology* 2010;17(3):179–87. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2009.11.002>.
126. Hao D, Yang L, Chen S, et al. Effects of long-term electromagnetic field exposure on spatial learning and memory in rats. *Neurol Sci* 2013;34(2):157–64. <https://doi.org/10.1007/s10072-012-0970-8>.
127. Li Y, Shi C, Lu G, Xu Q, Liu S. Effects of electromagnetic radiation on spatial memory and synapses in rat hippocampal CA1. *Neural Regen Res* 2012;7(16):1248–55. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-5374.2012.16.007>.

128. Narayanan SN, Kumar RS, Karun KM, Nayak SB, Bhat PG. Possible cause for altered spatial cognition of prepubescent rats exposed to chronic radiofrequency electromagnetic radiation. *Metab Brain Dis* 2015;30(5):1193–206. <https://doi.org/10.1007/s11011-015-9689-6>.
129. Narayanan SN, Kumar RS, Potu BK, Nayak S, Mailankot M. Spatial memory performance of Wistar rats exposed to mobile phone. *Clin Sao Paulo Braz* 2009;64(3):231–4. <https://doi.org/10.1590/s1807-59322009000300014>.
130. Ntzouni MP, Skouroliakou A, Kostomitsopoulos N, Margaritis LH. Transient and cumulative memory impairments induced by GSM 1.8 GHz cell phone signal in a mouse model. *Electromagn Biol Med* 2013;32(1):95–120. <https://doi.org/10.3109/15368378.2012.709207>.
131. Ntzouni MP, Stamatakis A, Stylianopoulou F, Margaritis LH. Short-term memory in mice is affected by mobile phone radiation. *Pathophysiology* 2011;18(3):193–9. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2010.11.001>.
132. Tang J, Zhang Y, Yang L, et al. Exposure to 900 MHz electromagnetic fields activates the mdk-1/ERK pathway and causes blood-brain barrier damage and cognitive impairment in rats. *Brain Res* 2015;1601:92–101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.01.019>.
133. Megha K, Deshmukh PS, Banerjee BD, Tripathi AK, Abegaonkar MP. Microwave radiation induced oxidative stress, cognitive impairment and inflammation in brain of Fischer rats. *Indian J Exp Biol* 2012;50(12):889–96.
134. Azimzadeh M, Jelodar G. Prenatal and early postnatal exposure to radiofrequency waves (900 MHz) adversely affects passive avoidance learning and memory. *Toxicol Ind Health* 2020;36(12):1024–30. <https://doi.org/10.1177/0748233720973143>.
135. Shahin S, Banerjee S, Swarup V, Singh SP, Chaturvedi CM. From the cover: 2.45-GHz microwave radiation impairs hippocampal learning and spatial memory: involvement of local stress mechanism-induced suppression of iGluR/ERK/CREB signaling. *Toxicol Sci* 2018;161(2):349–74. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfx221>.
136. Othman H, Ammari M, Rtibi K, Bensaid N, Sakly M, Abdelmelek H. Postnatal development and behavior effects of in utero exposure of rats to radiofrequency waves emitted from conventional WiFi devices. *Environ Toxicol Pharmacol* 2017;52:239–47. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2017.04.016>.
137. Panagopoulos DJ, Johansson O, Carlo GL. Real versus simulated mobile phone exposures in experimental studies. *BioMed Res Int* 2015;2015:e607053. <https://doi.org/10.1155/2015/607053>.
138. Leach V, Weller S, Redmayne M. A novel database of bioeffects from non-ionizing radiation. *Rev Environ Health* 2018;33(3):273–80. <https://doi.org/10.1515/reveh-2018-0017>.
139. Aldad TS, Gan G, Gao XB, Taylor HS. Fetal radiofrequency radiation exposure from 800–1900 Mhz-rated cellular telephones affects neurodevelopment and behavior in mice. *Sci Rep* 2012;2:312. <https://doi.org/10.1038/srep00312>.
140. Broom KA, Findlay R, Addison DS, Goiceanu C, Sienkiewicz Z. Early-life exposure to pulsed LTE radiofrequency fields causes persistent changes in activity and behavior in C57BL/6 J mice. *Bioelectromagnetics* 2019;40(7):498–511. <https://doi.org/10.1002/bem.22217>.
141. Fragopoulou AF, Samara A, Antonelou MH, et al. Brain proteome response following whole body exposure of mice to mobile phone or wireless DECT base radiation. *Electromagn Biol Med* 2012;31(4):250–74. <https://doi.org/10.3109/15368378.2011.631068>.
142. Fragopoulou AF, Polyzos A, Papadopoulou MD, et al. Hippocampal lipidome and transcriptome profile alterations triggered by acute exposure of mice to GSM 1800 MHz mobile phone radiation: An exploratory study. *Brain Behav* 2018;8 (6):e01001. <https://doi.org/10.1002/brb3.1001>.
143. IARC. Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Non-ionizing-Radiation-Part-1-Static-And-Extremely-Low-frequency-ELF-Electric-And-Magnetic-Fields-2002>. Accessed January 10, 2023.
144. Carpenter DO. Extremely low frequency electromagnetic fields and cancer: How source of funding affects results. *Environ Res* 2019;178:108688. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108688>.
145. Seomun G, Lee J, Park J. Exposure to extremely low-frequency magnetic fields and childhood cancer: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE* 2021;16(5):e0251628. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251628>.
146. Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, 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. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.037>.
147. National Toxicology Program NI of ESciences. Toxicology and carcinogenesis studies in B6C3F1/n mice exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (1,900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. *NTP Tech Rep* 2018;596:260.
148. National Toxicology Program NI of EHS. Toxicology and carcinogenesis studies in Hsd: Sprague Dawley SD rats exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. *NTP Tech Rep* 2018;595:384 [https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/lt\\_rpts/tr595\\_508.pdf](https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/lt_rpts/tr595_508.pdf). Accessed November 15, 2018.
149. Coureau G, Bouvier G, Lebailly P, et al. Mobile phone use and brain tumours in the CERENAT case-control study. *Occup Environ Med* 2014;71(7):514–22. <https://doi.org/10.1136/oemed-2013-101754>.
150. Turner MC, Sadetzki S, Langer CE, et al. Investigation of bias related to differences between case and control interview dates in five INTERPHONE countries. *Ann Epidemiol* 2016;26(12):827–32. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2016.09.013>.
151. Momoli F, Siemiatycki J, McBride ML, et al. Probabilistic multiple-bias modeling applied to the Canadian data from the Interphone study of mobile phone use and risk of glioma, meningioma, acoustic neuroma, and parotid gland tumors. *Am J Epidemiol* 2017;186(7):885–93. <https://doi.org/10.1093/aje/kwx157>.
152. Lerchl A, Klose M, Grote K, et al. Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans. *Biochem Biophys Res Commun* 2015;459 (4):585–90. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2015.02.151>.
153. Choi YJ, Moskowitz JM, Myung SK, Lee YR, Hong YC. Cellular phone use and risk of tumors: systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17 (21):8079. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218079>.
154. Uche UI, Naidenko OV. Development of health-based exposure limits for radiofrequency radiation from wireless devices using a benchmark dose approach. *Environ Health* 2021;20(1):84. <https://doi.org/10.1186/s12940-021-00768-1>.
155. The INTERPHONE Study Group. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Int J Epidemiol* 2010;39 (3):675–94. <https://doi.org/10.1093/ije/dyq079>.
156. Hardell L, Moskowitz JM. A critical analysis of the MOBIKids study of wireless phone use in childhood and adolescence and brain tumor risk. *Rev Environ Health* May 2022. <https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0040>.

157. Repacholi MH, Lerchl A, R€osli M, et al. Systematic review of wireless phone use and brain cancer and other head tumors. *Bioelectromagnetics* 2012;33(3):187–206. <https://doi.org/10.1002/bem.20716>.
158. Birnbaum LS, Taylor HS, Baldwin H, Ben-Ishai P, Davis D. RE: cellular telephone use and the risk of brain tumors: update of the UK million women study. *JNCI J Natl Cancer Inst* 2022;114(11):1551–2. <https://doi.org/10.1093/jnci/djac110>.
159. Moskowitz JM. RE: cellular telephone use and the risk of brain tumors: update of the UK million women study. *JNCI J Natl Cancer Inst* 2022;114(11):1549–50. <https://doi.org/10.1093/jnci/djac109>.
160. Carlberg M, Hedendahl L, Ahonen M, Koppel T, Hardell L. Increasing incidence of thyroid cancer in the Nordic countries with main focus on Swedish data. *BMC Cancer* 2016;16(1):426. <https://doi.org/10.1186/s12885-016-2429-4>.
161. West JG, Kapoor NS, Liao SY, Chen JW, Bailey L, Nagourney RA. Multifocal breast cancer in young women with prolonged contact between their breasts and their cellular phones. *Case Rep Med* 2013;2013:e354682. <https://doi.org/10.1155/2013/354682>.
162. Shih YW, Hung CS, Huang CC, et al. The association between smartphone use and breast cancer risk among taiwanese women: a case-control study. *Cancer Manag Res* 2020;12:10799–807. <https://doi.org/10.2147/CMAR.S267415>.
163. Carlberg M, Hardell L. Evaluation of mobile phone and cordless phone use and glioma risk using the Bradford Hill viewpoints from 1965 on association or causation. *BioMed Res Int* 2017;2017:e9218486. <https://doi.org/10.1155/2017/9218486>.
164. Peleg M, Berry EM, Deitch M, Nativ O, Richter E. On radar and radio exposure and cancer in the military setting. *Environ Res* 2023;216:114610. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114610>.
165. Miller AB, Morgan LL, Udasin I, Davis DL. Cancer epidemiology update, following the 2011 IARC evaluation of radiofrequency electromagnetic fields (Monograph 102). *Environ Res* 2018;167:673–83. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.06.043>.
166. Melnick RL. Commentary on the utility of the National Toxicology Program study on cell phone radiofrequency radiation data for assessing human health risks despite unfounded criticisms aimed at minimizing the findings of adverse health effects. *Environ Res* 2019;168:1–6. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.010>.
167. Directorate-General for Parliamentary Research Services (European Parliament), Belpoggi F. Health Impact of 5G: Current State of Knowledge of 5G Related Carcinogenic and Reproductive/Developmental Hazards as They Emerge from Epidemiological Studies and in Vivo Experimental Studies. LU: Publications Office of the European Union; 2021 <https://data.europa.eu/doi/10.2861/657478>. Accessed September 21, 2022.
168. White MC, Weir HK, Soman AV, Peipins LA, Thompson TD. Risk of clear-cell adenocarcinoma of the vagina and cervix among US women with potential exposure to diethylstilbestrol in utero. *Cancer Causes Control CCC* 2022;33(8):1121–4. <https://doi.org/10.1007/s10552-022-01598-3>.
169. Ugai T, Sasamoto N, Lee HY, et al. Is early-onset cancer an emerging global epidemic? Current evidence and future implications. *Nat Rev Clin Oncol* 2022;19(10):656–73. <https://doi.org/10.1038/s41571-022-00672-8>.
170. Loomans-Kropp HA, Umar A. Increasing incidence of colorectal cancer in young adults. *J Cancer Epidemiol* 2019;2019:e9841295. <https://doi.org/10.1155/2019/9841295>.
171. Rising colon and rectal cancer rates could be due to cell phone radiation. *Environ Health Trust* September 2020 <https://ehtrust.org/rising-colon-and-rectal-cancer-rates-could-be-due-to-cell-phone-radiation/>. Accessed January 10, 2023.
172. Mokarram P, Sheikhi M, Mortazavi SMJ, Saeb S, Shokrpour N. Effect of exposure to 900 MHz GSM mobile phone radiofrequency radiation on estrogen receptor methylation status in colon cells of male sprague dawley rats. *J Biomed Phys Eng* 2017;7(1):79–86.
173. Alkayyali T, Ochuba O, Srivastava K, et al. An exploration of the effects of radiofrequency radiation emitted by mobile phones and extremely low frequency radiation on thyroid hormones and thyroid gland histopathology. *Cureus* 2021;13(8). <https://doi.org/10.7759/cureus.17329>.
174. Cantürk Tan F, Yalçın B, Yay AH, Tan B, Yeğin K, Dasdag S. Effects of pre and postnatal 2450 MHz continuous wave (CW) radiofrequency radiation on thymus: four generation exposure. *Electromagn Biol Med* 2022;41(3):315–24. <https://doi.org/10.1080/15368378.2022.2079673>.
175. La Merrill MA, Vandenberg LN, Smith MT, et al. Consensus on the key characteristics of endocrine-disrupting chemicals as a basis for hazard identification. *Nat Rev Endocrinol* 2020;16(1):45–57. <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0273-8>.
176. Soffritti M, Giuliani L. The carcinogenic potential of nonionizing radiations: the cases of S-50 Hz MF and 1.8 GHz GSM radiofrequency radiation. *Basic Clin Pharmacol Toxicol* 2019;125(Suppl 3):58–69. <https://doi.org/10.1111/bcpt.13215>.
177. Tan S, Wang H, Xu X, et al. Acute effects of 2.856 GHz and 1.5 GHz microwaves on spatial memory abilities and CREB-related pathways. *Sci Rep* 2021;11(1):12348. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91622-4>.
178. Yao C, Wang H, Sun L, et al. The biological effects of compound microwave exposure with 2.8 GHz and 9.3 GHz on immune system: transcriptomic and proteomic analysis. *Cells* 2022;11(23):3849. <https://doi.org/10.3390/cells11233849>.
179. Parent J, Sanders W, Forehand R. Youth screen time and behavioral health problems: the role of sleep duration and disturbances. *J Dev Behav Pediatr JDBP* 2016;37(4):277–84. <https://doi.org/10.1097/DBP.0000000000000272>.
180. Royant-Parola S, Londe V, Tréhout S, Hartley S. [The use of social media modifies teenagers' sleep-related behavior]. *L'Encephale* 2018;44(4):321–8. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2017.03.009>.
181. Hale L, Kirschen GW, LeBourgeois MK, et al. Youth screen media habits and sleep: sleep-friendly screen behavior recommendations for clinicians, educators, and parents. *Child Adolesc Psychiatr Clin N Am* 2018;27(2):229–45. <https://doi.org/10.1016/j.chc.2017.11.014>.
182. Guerrero MD, Barnes JD, Chaput JP, Tremblay MS. Screen time and problem behaviors in children: exploring the mediating role of sleep duration. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2019;16(1):105. <https://doi.org/10.1186/s12966-019-0862-x>.
183. Stiglic N, Viner RM. Effects of screentime on the health and well-being of children and adolescents: a systematic review of reviews. *BMJ Open* 2019;9(1):e023191. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-023191>.
184. Council on Communications and Media, Hill D, Ameenuddin N, et al. Media use in school-aged children and adolescents. *Pediatrics* 2016;138(5):e20162592. <https://doi.org/10.1542/peds.2016-2592>.
185. Nagata JM, Chu J, Zamora G, et al. Screen time and obsessive-compulsive disorder among children 9–10 years old: a prospective cohort study. *J Adolesc Health Decem 2022*. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2022.10.023>.

186. van den Heuvel M, Ma J, Borkhoff CM, et al. Mobile media device use is associated with expressive language delay in 18-month-old children. *J Dev Behav Pediatr* 2019;40(2):99–104. <https://doi.org/10.1097/DBP.0000000000000630>.
187. Lissak G. Adverse physiological and psychological effects of screen time on children and adolescents: Literature review and case study. *Environ Res* 2018;164:149–57. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.015>.
188. Axelsson EL, Purcell K, Asis A, et al. Preschoolers' engagement with screen content and associations with sleep and cognitive development. *Acta Psychol (Amst)* 2022;230:103762. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2022.103762>.
189. American Psychiatric Association. DSM-5 Task Force. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition (DSM-5). 5th ed Arlington, VA: American Psychiatric Association; 2013.
190. Perrin A. 5 facts about Americans and video games. *Pew Res Cent*. <https://www.pewresearch.org/fact-tank/2018/09/17/5-facts-about-americans-and-video-games/>. Accessed January 25, 2023.
191. Nagata JM, Chu J, Ganson KT, et al. Contemporary screen time modalities and disruptive behavior disorders in children: a prospective cohort study. *J Child Psychol Psychiatry* 2023;64(1):125–35. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13673>.
192. Dunkley V.L. Reset Your Child's Brain: A Four-Week Plan to End Melt-Downs, Raise Grades, and Boost Social Skills by Reversing the Effects of Electronic Screen Time. <https://www.publishersweekly.com/9781608682843>. Accessed January 25, 2023.
193. Pedersen J, Rasmussen MGB, Sørensen SO, et al. Effects of limiting recreational screen media use on physical activity and sleep in families with children: a cluster randomized clinical trial. *JAMA Pediatr* 2022;176(8):741–9. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2022.1519>.
194. Camerini AL, Albanese E, Marciano L. The impact of screen time and green time on mental health in children and adolescents during the COVID-19 pandemic. *Comput Hum Behav Rep* 2022;7:100204. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2022.100204>.
195. Li M, Lanca C, Tan CS, et al. Association of time outdoors and patterns of light exposure with myopia in children. *Br J Ophthalmol* 2023;107(1):133–9. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2021-318918>.
196. Philipp D, Vogel M, Brandt M, et al. The relationship between myopia and near work, time outdoors and socioeconomic status in children and adolescents. *BMC Public Health* 2022;22(1):2058. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-14377-1>.
197. MacRoy-Higgins M, Kolker C. Time to Talk: What You Need to Know About Your Child's Speech and Language Development. First edition New York: AMACOM; 2017.
198. McDaniel BT, Radesky JS. Technoference: parent distraction with technology and associations with child behavior problems. *Child Dev* 2018;89(1):100–9. <https://doi.org/10.1111/cdev.12822>.
199. Davis D, Sears ME, Miller AB, Bray R. Microwave/radiofrequency radiation and human health: clinical management in the digital age. In: Cohen A, vom Saal FS, Weil A, (eds). *Integrative Environmental Medicine*, Oxford University Press, 2017. p. 0. <https://doi.org/10.1093/med/9780190490911.003.0010>.
200. Belyaev I, Dean A, Eger H, et al. EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. *Rev Environ Health* 2016;31(3):363–97. <https://doi.org/10.1515/reveh-2016-0011>.
201. Bray R.. Clinical Practice Guidelines in the Diagnosis and Management of Electromagnetic Field Hypersensitivity (EHS). October 2020.
202. Austrian Medical Association. Guideline of the Austrian Medical Association (w) for the diagnosis and treatment of EMF related health problems and illnesses (EMF syndrome). March 2012. <https://ehtrust.org/wp-content/uploads/The-Austrian-Medical-Association-Guidelines-for-Diagnosis-and-Treatment-of-EMF-related-Health-Problems.pdf>.
203. EMF - Medical Conference 2021. <https://emfconference2021.com/>. Accessed January 25, 2023.
204. Stein Y, Udasin IG. Electromagnetic hypersensitivity (EHS, microwave syndrome) \_ Review of mechanisms. *Environ Res* 2020;186:109445. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109445>.
205. Farashi S, Bashirian S, Khazaei S, Khazaei M, Farhadinasab A. Mobile phone electromagnetic radiation and the risk of headache: a systematic review and meta-analysis. *Int Arch Occup Environ Health* 2022;95(7):1587–601. <https://doi.org/10.1007/s00420-022-01835-x>.
206. Redmayne M, Smith E, Abramson MJ. The relationship between adolescents' well-being and their wireless phone use: a cross-sectional study. *Environ Health Glob Access Sci Source* 2013;12:90. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-90>.
207. Chongchitpaisan W, Wiwatanadate P, Tanprawate S, Narkpongphan A, Siripon N. Trigger of a migraine headache among Thai adolescents smartphone users: a time series study. *Environ Anal Health Toxicol* 2021;36(1):e2021006. <https://doi.org/10.5620/eaht.2021006>.
208. Balmori A. Evidence for a health risk by RF on humans living around mobile phone base stations: From radiofrequency sickness to cancer. *Environ Res* 2022;214:113851. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113851>.
209. Dieudonn\_e M. Does electromagnetic hypersensitivity originate from nocebo responses? Indications from a qualitative study. *Bioelectromagnetics* 2016;37(1):14–24. <https://doi.org/10.1002/bem.21937>.
210. Hardell L, Nilsson M. Case Report: the microwave syndrome after installation of 5G emphasizes the need for protection from radiofrequency radiation. *Ann Case Rep* January 2023 <https://www.gavinpublishers.com/article/view/case-report-the-microwave-syndrome-after-installation-of-5g-emphasizes-the-need-for-protection-from-radiofrequency-radiation>. Accessed January 25, 2023.
211. US Access Board. IEQ Indoor Environmental Quality Project. <https://www.access-board.gov/research/building/indoorenvironmental-quality/>. Accessed January 25, 2023.
212. Electrical Sensitivity. <https://askjan.org/disabilities/Electrical-Sensitivity.cfm#otherinfo>. Accessed January 25, 2023.
213. Job Accommodation Network. Accommodation and Compliance Series: Employees with Electrical Sensitivity. 2022. <https://askjan.org/publications/Disability-Downloads.cfm?pubid=226622>. Accessed January 25, 2023.
214. Physicians' Health Initiative for Radiation and Environment. Press Release: Education Health Care Plan (EHCP) awarded (July 2022) for UK child on the basis of Electromagnetic Hypersensitivity (EHS). August 2022. <https://phiremedical.org/wp-content/uploads/2022/10/phire-2022-press-release-hm-courts-and-tribunals-service-ehcp-for-uk-child-with-ehs.pdf>.
215. McDonald and Comcare.(Administrative Appeals Tribunal of Australia 2013). <http://www8.austlii.edu.au/cgi-bin/viewdoc/au/cases/cth/aat/2013/105.html>. Accessed January 26, 2023.
216. Wilkie C., Baker D.. Accommodation for environmental sensitivities: legal perspective.
217. Sears M.E., Eng M.. The medical perspective on environmental sensitivities. 2007.
218. Canadian Human Rights Commission. Policy on Environmental

- Sensitivities. In: 2019. <https://www.chrc-ccdp.gc.ca/en/resources/publications/policy-environmental-sensitivities>. Accessed January 26, 2023.
219. Kostoff RN, Lau CGY. Modified health effects of non-ionizing electromagnetic radiation combined with other agents reported in the biomedical literature. In: Geddes CD, ed. *Microwave Effects on DNA and Proteins*, Cham: Springer International Publishing, 2017. pp. 97–157. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-50289-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-50289-2_4).
220. Sueiro-Benavides RA, Leiro-Vidal JM, Salas-Sanchez A\_A, Rodriguez-Gonzalez JA, Ares-Pena FJ, Lopez-Martin ME. Radiofrequency at 2.45 GHz increases toxicity, pro-inflammatory and pre-apoptotic activity caused by black carbon in the RAW 264.7 macrophage cell line. *Sci Total Environ* 2021;765:142681. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142681>.
221. Ledoigt G, Sta C, Goujon E, Souguir D, Ferjani EE. Synergistic health effects between chemical pollutants and electromagnetic fields. *Rev Environ Health* 2015;30(4):305–9. <https://doi.org/10.1515/revh-2015-0028>.
222. Leszczynski D, Joenväärä S, Reivinen J, Kuokka R. Nonthermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: Molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation* 2002;70(2):120–9. <https://doi.org/10.1046/j.1432-0436.2002.700207.x>.
223. Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BRR. Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environ Health Perspect* 2003;111(7):881–3. <https://doi.org/10.1289/ehp.6039>.
224. Sirav B, Seyhan N. Effects of radiofrequency radiation exposure on blood-brain barrier permeability in male and female rats. *Electromagn Biol Med* 2011;30(4):253–60. <https://doi.org/10.3109/15368378.2011.600167>.
225. Sirav B, Seyhan N. Effects of GSM modulated radio-frequency electromagnetic radiation on permeability of blood\_brain barrier in male & female rats. *J Chem Neuroanat* 2016;75:123–7. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2015.12.010>.
226. Byun YH, Ha M, Kwon HJ, et al. Mobile phone use, blood lead levels, and attention deficit hyperactivity symptoms in children: a longitudinal study. *PLOS ONE* 2013;8(3):e59742. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059742>.
227. Choi KH, Ha M, Ha EH, et al. Neurodevelopment for the first three years following prenatal mobile phone use, radio frequency radiation and lead exposure. *Environ Res* 2017;156:810–7. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.04.029>.
228. Braun KVN, Christensen D, Doernberg N, et al. Trends in the prevalence of autism spectrum disorder, cerebral palsy, hearing loss, intellectual disability, and vision impairment, metropolitan Atlanta, 1991\_2010. *PLOS ONE* 2015;10(4):e0124120. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124120>.
229. Dutheil F, Comptour A, Morlon R, et al. Autism spectrum disorder and air pollution: a systematic review and meta-analysis. *Environ Pollut Barking Essex* 1987 2021;278:116856. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116856>.
230. Ahuja YR, Sharma S, Bahadur B. Autism: an epigenomic side-effect of excessive exposure to electromagnetic fields. *Int J Med Med Sci* 2013;5(4):171–7. <https://doi.org/10.5897/IJMMMS12.135>.
231. Thornton IM. Out of time: a possible link between mirror neurons, autism and electromagnetic radiation. *Med Hypotheses* 2006;67(2):378–82. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2006.01.032>.
232. Herbert MR, Sage C. Autism and EMF? Plausibility of a pathophysiological link \_ Part I. *Pathophysiology* 2013;20(3):191–209. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2013.08.001>.
233. Herbert MR, Sage C. Autism and EMF? Plausibility of a pathophysiological link part II. *Pathophysiology* 2013;20(3):211–34. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2013.08.002>.
234. National Council on Radiation Protection and Measurements. Report No. 086 \_ Biological Effects and Exposure Criteria for Radiofrequency Electromagnetic Fields (1986). Bethesda, MD: NCRP; 1986. <https://ncrponline.org/shop/reports/reportno-086-biological-effects-and-exposure-criteria-for-radiofrequency-electromagnetic-fields-1986/>. Accessed January 26, 2023.
235. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Section 1.1310 - Radiofrequency radiation exposure limits. Code Fed Regul 2011;1 <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2011-title47-vol1/xml/CFR-2011-title47-vol1-sec1-1310.xml>. Accessed February 1, 2023.
236. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). Comparison of International Policies on Electromagnetic Fields. 201820.
237. Parliamentary Assembly. The Potential Dangers of Electromagnetic Fields and Their Effect on the Environment. [https://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/Xref-XML2HTMLen.asp?fileid=17994&Accessed January 26, 2023](https://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/Xref-XML2HTMLen.asp?fileid=17994&Accessed%20January%2026,%202023).
238. Redmayne M. International policy and advisory response regarding children's exposure to radio frequency electromagnetic fields (RF-EMF). *Electromagn Biol Med* 2016;35(2):176–85. <https://doi.org/10.3109/15368378.2015.1038832>.
239. Sivani S, Sudarsanam D. Impacts of radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) from cell phone towers and wireless devices on biosystem and ecosystem \_ a review. *Biol Med* 2012.
240. Ministry of Environment and Forest, Government of India. Report on Possible Impacts of Communication Towers on Wildlife Including Birds and Bees.; 2010. <https://www.ee.iitb.ac.in/~mwave/Report%20on%20Possible%20Impacts%20of%20Communication%20Towers.pdf>.
241. Hennies K, Neitzke HP, Voigt H. Mobile Telecommunications and Health Review of the Current Scientific Research in View Of Precautionary Health Protection. *ECOLOGInstitut*; April 2000. p. 86 <https://ehtrust.org/wp-content/uploads/T-mobile-RF-Radiation-Ecolog-2000-Report-.pdf>.
242. Belyaev I. Dependence of non-thermal biological effects of microwaves on physical and biological variables: Implications for reproducibility and safety standards. *Eur J Oncol Libr* 2010;5:187–218. [EadegnT](https://doi.org/10.1007/s12031-010-9187-2)
243. Mohammed B, Jin J, Abbosh AM, Bialkowski KS, Manoufali M, Crozier S. Evaluation of children's exposure to electromagnetic fields of mobile phones using age-specific head models with age-dependent dielectric properties. *IEEE Access* 2017;5:27345–53. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2767074>.
244. Beard BB, Kainz W, Onishi T, et al. Comparisons of computed mobile phone induced SAR in the SAM phantom to that in anatomically correct models of the human head. *IEEE Trans Electromagn Compat* 2006;48(2):397–407. <https://doi.org/10.1109/TEMC.2006.873870>.
245. McInerny T.K.. Letter from President of the American Academy of Pediatrics, Thomas K. McInerny, MD, FAAP to the Honorable Dennis Kucinich, Representative. December 2012. [https://ehtrust.org/wp-content/uploads/2015/12/aap\\_-support\\_letter\\_cell\\_phone\\_right\\_to\\_know\\_act.pdf](https://ehtrust.org/wp-content/uploads/2015/12/aap_-support_letter_cell_phone_right_to_know_act.pdf).
246. Cell Phone Right to Know Act (2012 - H.R. 6358). *GovTrack.us*. <https://www.govtrack.us/congress/bills/112/hr6358>. Accessed January 27, 2023.
247. Environmental Health Trust | Information About Cell Phone, Wi-Fi, 5G, and Bluetooth Radiation Science Facts on Health Effects. *Environmental Health Trust*. <https://ehtrust.org/>. Accessed January 27, 2023.

248. Common Position on 5G Deployment of the Cyprus Medical Association and the Cyprus National Committee of Environment and Children's Health (19/09/2019) | Paidi.com.cy. <https://paidi.com.cy/common-position-on-5g-deploymentof-the-cyprus-medical-association-and-the-cyprus-nationalcommittee-of-environment-and-childrens-health/?lang=en>. Accessed January 10, 2023.
249. Steiner E, Aufderegg B, Semadeni C. Vorsorgeprinzip beim Mobilfunk konsequent anwenden. *Schweiz Ärztztg* 2020;101(46):1534–6. <https://doi.org/10.4414/saez.2020.19274>.
250. Inquinamento radioattivo. ISDE Ital. <https://www.isde.it/cosa-facciamo/aree-tematiche/inquinamento/inquinamentoradioattivo/>. Accessed January 10, 2023.
251. Gravalos T.. Η ανάγκη να λη'ούουν μέτρα, για την προστασία από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τονίστηκε στο πλαίσιο ημερίδα& poy diorgánvse o ISA, υπό την αιγίδα της & KEDE. Ιατρικό& Σύλλογο& Αιχμίων. <https://www.isathens.gr/syndikal/6743-imerida-ilektromagnitiki-aktinovolvia.html>. Published April 2, 2017. Accessed January 27, 2023.
252. American Academy of Pediatrics. Cell Phone Radiation & Children's Health: What Parents Need to Know. [Healthy-Children.org. https://www.healthychildren.org/English/safety-prevention/all-around/Pages/Cell-Phone-Radiation-Childrens-Health.aspx](https://www.healthychildren.org/English/safety-prevention/all-around/Pages/Cell-Phone-Radiation-Childrens-Health.aspx). Accessed January 10, 2023.
253. California Department of Public Health, Division of Environmental and Occupational Disease Control. How to Reduce Exposure to Radiofrequency Energy from Cell Phones. <https://www.cdph.ca.gov/Programs/CCDC/DEOD/CEHIB/CDPH%20Document%20Library/Cell-Phone-Guidance.pdf>.
254. Wall S, Wang ZM, Kendig T, Dobraca D, Lipsett M. Realworld cell phone radiofrequency electromagnetic field exposures. *Environ Res* 2019;171:581–92. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.015>.
255. Children's Environmental Health and Protection Advisory Council. Maryland.gov Guidelines to Reduce Electromagnetic Field Radiation. [https://health.maryland.gov/phpa/OEHFP/EH/Shared%20Documents/CEHPAC/CEHPAC\\_EMF%20Guidelines%20to%20Reduce%20Exposure\\_12.20.2022.pdf](https://health.maryland.gov/phpa/OEHFP/EH/Shared%20Documents/CEHPAC/CEHPAC_EMF%20Guidelines%20to%20Reduce%20Exposure_12.20.2022.pdf). Accessed January 10, 2023.
256. Madjar HM. Human radio frequency exposure limits: An update of reference levels in Europe, USA, Canada, China, Japan and Korea. In: 2016 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE; 2016. p. 467–73. <https://doi.org/10.1109/EMCEurope.2016.7739164>.
257. ANFR. Wave Observatory. <https://www.anfr.fr/maitriser/information-du-public/observatoire-des-ondes>. Accessed January 27, 2023.
258. Silva A. New communications antenna law in Chile. *Commun Law Newsl Int Bar Assoc Leg Pract Div* 2013;20(1). [https://www.carey.cl/download/newsalert/Communications%20Law%20\(April%202013\).pdf](https://www.carey.cl/download/newsalert/Communications%20Law%20(April%202013).pdf).
259. Local cell tower laws that protect communities. *Environ Health Trust* November 2022: <https://ehtrust.org/local-celltower-laws-that-protect-communities/> Accessed January 27, 2023.
260. Database of Worldwide Policies on Cell Phones, Wireless and Health. *Environ Health Trust*. <https://ehtrust.org/policy/international-policy-actions-on-wireless/>. Accessed January 27, 2023.
261. Sharma A. Rajasthan HC Orders Relocation of Mobile Towers from Schools, Hospitals. *The Economic Times*; 2012 <https://economictimes.indiatimes.com/industry/telecom/rajasthan-hcorders-relocation-of-mobile-towers-from-schools-hospitals/articleshow/17397645.cms?intenttarget=no>. Published November 28. Accessed January 10, 2023.
262. Linhares A., da Silva M.. INTERNATIONAL EMF PROJECT ADVISORY COMMITTEE (IAC) MEETING Anatel Report on EMF Activities in Brazil. Brazil; 2018:2. <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/>
- radiation/radiation/emf-international-project-country-reports/amro-region/brazil\_2019.pdf?sfvrsn=2b0e7f97\_5&download=true.
263. National Telecommunications Agency Brazil. Electromagnetic Field Exposure Map. Anatel Gov Brazil. <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/espectro-e-orbita/mapa-deexposicao-a-campos-eletromagneticos>. Accessed January 27, 2023.
264. Observatory. <https://paratiritirioemf.eea.gr/en/?rCH=2>. Accessed January 10, 2023.
265. U.S. Environmental Protection Agency, Hankin NN. Radiofrequency Radiation Environment Environmental Exposure Levels And Rf Radiation Emitting Sources. July 1986. <https://kurzelinks.de/znmo>
266. Hardell L, Carlberg M, Hedendahl LK. Radiofrequency radiation from nearby base stations gives high levels in an apartment in Stockholm, Sweden: a case report. *Oncol Lett* 2018;15(5):7871–83. <https://doi.org/10.3892/ol.2018.8285>.
267. Koppel T, Ahonen M, Carlberg M, Hardell L. Very high radiofrequency radiation at Skeppsbron in Stockholm, Sweden from mobile phone base station antennas positioned close to pedestrians' heads. *Environ Res* 2022;208:112627. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112627>.
268. Order of 15 November 2019 relating to the display of the specific absorption rate of radio equipment and consumer information. Vol NOR: SSAP1834792A.; 2019. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000039385174#JORFARTI000039385179>. Accessed November 16, 2022.
269. Order of 15 November 2019 Relating to the Display of the Specific Absorption Rate of Radio Equipment and Consumer Information.
270. ANFR. SAR Regulation Guide on 1st July 2020. 2020. <https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/expacement-2020-guide-R%3%A9glementation-DAS-EN.pdf>.
271. Directorate of Legal and Administrative Information (Prime Minister). Ondes \_electromagn\_etiques : plus de vigilance sur l'information aux consommateurs. *Electromagn Waves More Vigil Consum Inf* November 2022: <https://www.service-public.fr/particuliers/actualites/A16183> Accessed January 27, 2023.
272. Bolksgesondheid F.O., Van De Voedselketen En Leefmilieu V.. New rules for selling mobile phones Practical guide for sellers and distributors. [https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth\\_theme\\_file/19096044/Guide%20mobile%20phone%20v5.pdf](https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/19096044/Guide%20mobile%20phone%20v5.pdf).
273. Lukovnikova DrM. Implementation of the council recommendations in Belgium introduction of new rules for mobile phone sales. In: Presented at the: Workshop on Electromagnetic Fields and Health Effects: from Science to Policy and Public Awareness, Athens, Greece; 2014.March 28 [https://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/ev\\_20140328\\_co06\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/ev_20140328_co06_en.pdf).
274. ANFR-The results of SAR measurements. <https://www.anfr.fr/maitriser/equipements-radioelectriques/le-debit-dabsorption-specifique-das/les-resultats-des-mesures-de-das>. Accessed January 27, 2023.
275. Adopted Text N° 468 "Little Law." <https://www.assembleenationale.fr/14/ta/ta0468.asp>. Accessed January 26, 2023.
276. Parliamentary Assembly. PACE website. <https://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/Xref-XML2HTML-en.asp?fileid=17994&>. Accessed January 10, 2023.
277. Friday SEHTP, March 03, Permalink 2017 at 11:43 AM CST-. First State in the Nation: Maryland State Advisory Council Recommends Reducing School Wireless to Protect Children. *SBWire*. <http://www.sbwire.com/pressreleases/first-state-in-the-nation-maryland-state-advisorycouncil-recommends-reducing-school-wireless-to->

protect-children-777904.htm. Published March 3, 2017. Accessed January 10, 2023.

278. Clegg FM, Sears M, Friesen M, et al. Building science and radiofrequency radiation: what makes smart and healthy buildings. *Build Environ* 2020;176:106324. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106324>.

279. Collaborative for High Performance Schools. 2014 USCHPS Criteria New Construction and Renovation Low-EMF Best Practices. 2014. [https://ehtrust.org/wp-content/uploads/2015/12/US-HPS\\_Criteria\\_2014\\_Low-EMF-Criteria102314.pdf](https://ehtrust.org/wp-content/uploads/2015/12/US-HPS_Criteria_2014_Low-EMF-Criteria102314.pdf).

280. Bellieni CV, Nardi V, Buonocore G, Di Fabio S, Pinto I, Verrotti A. Electromagnetic fields in neonatal incubators: the reasons for an alert. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2017;32(4):695–9. <https://doi.org/10.1080/14767058.2017.1390559>.

281. Passi R, Doheny KK, Gordin Y, Hinssen H, Palmer C. Electrical grounding improves vagal tone in preterm infants. *Neonatology* 2017;112(2):187–92. <https://doi.org/10.1159/000475744>.

282. Calvente I, Vazquez-Perez A, Fernandez MF, Nunez MI, Munoz-Hoyos A. Radiofrequency exposure in the neonatal medium care unit. *Environ Res* 2017;152:66–72. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.09.019>.

283. Sadetzki S, Ghelberg S, Kandel, S. National Activity Report \_ ISRAEL 2016. Israel; 2016:4. [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/radiation/emf-international-projectcountry-reports/euro-region/israel-2017.pdf?sfvrsn=27e550b4\\_3](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/radiation/emf-international-projectcountry-reports/euro-region/israel-2017.pdf?sfvrsn=27e550b4_3).

284. Campaign at Archbishop Makarios Hospital 2019 \_ EMF/RF | Paidi.com.cy. <https://paldi.com.cy/campaign-at-archbishop-makarios-hospital-2019-emf-rf/?lang=en>. Accessed January 10, 2023.

285. Environmental Medicine Matters » Hamburg hospital offers rooms for patients with MCS and environmental illness. <http://www.csn-deutschland.de/blog/en/hamburg-hospitaloffers-rooms-for-patients-with-mcs-and-environmental-illness/>. Accessed February 1, 2023.

286. Levitt BB, Lai HC, Manville AM. Low-level EMF effects on wildlife and plants: what research tells us about an ecosystem approach. *Front Public Health* 2022;10 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2022.1000840>. Accessed December 9, 2022.

Übersetzung: diagnose:funk, mit freundlicher Genehmigung der Autoren  
Es gilt der englische Originaltext  
August, 2023