



BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG

Reinhard Grünwald
Christoph Revermann
Pauline Riousset

Mögliche gesundheitliche Auswirkungen verschiede- ner Frequenzbereiche elektromagnetischer Felder (HF-EMF)

Endbericht zum TA-Projekt

Juli 2022
Arbeitsbericht Nr. 196



Reinhard Grünwald
Christoph Revermann
Pauline Rioussel

Mögliche gesundheitliche Auswirkungen verschiede- ner Frequenzbereiche elektromagnetischer Felder (HF-EMF)

Endbericht zum TA-Projekt

Büro für Technikfolgen-Abschätzung
beim Deutschen Bundestag
Neue Schönhauser Straße 10
10178 Berlin

Telefon: +49 30 28491-0
E-Mail: buero@tab-beim-bundestag.de
Web: www.tab-beim-bundestag.de

2022

Umschlagbild: succo/Pixabay

ISSN-Internet: 2364-2602

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) berät das Parlament und seine Ausschüsse in Fragen des wissenschaftlich-technischen Wandels. Das TAB wird seit 1990 vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) betrieben. Hierbei kooperiert es seit September 2013 mit dem IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH sowie der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.



Inhalt

Zusammenfassung	7
1 Einleitung	23
2 EMF-Quellen und Expositionsszenarien	29
2.1 Übersicht potenzieller EMF-Quellen	29
2.1.1 Mobiltelefonie	29
2.1.2 DECT	31
2.1.3 WLAN	33
2.1.4 Bluetooth	35
2.1.5 Babyphone	37
2.1.6 Smarthomegeräte	38
2.1.7 Mikrowellenherd	40
2.1.8 Induktionsherd	42
2.1.9 Induktives Laden bei Elektrokleingeräten	43
2.1.10 Induktives Laden bei E-Fahrzeugen	45
2.2 Stellungnahmen und Empfehlungen der SSK	48
2.2.1 Statusbericht zu elektromagnetischen Feldern neuer Technologien	48
2.2.2 Empfehlungen für Emissionsstandards bei gleich- zeitig betriebenen Feldquellen	50
2.3 Untersuchungen zur Abschätzung von HF-Expositionen der Bevölkerung aus verschiedenen Quellen	51
2.3.1 Untersuchungen im DMF	52
2.3.2 Forschungsvorhaben im Anschluss an das DMF	64
2.3.3 Weitere Untersuchungen zur Exposition	69
2.4 Untersuchung ausgewählter Expositionsszenarien	70
2.4.1 Expositionsszenarien	71
2.4.2 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse der Expositionsszenarien	96
3 Grenzwerte und Risikogovernance für elektromag- netische Felder	99
3.1 Empfehlungen der ICNIRP	100
3.2 Update ICNIRP 2020	105
3.3 Risikogovernance – Rolle der ICNIRP	107



3.4	Grenzwerte in Deutschland	107
3.5	Grenzwerte international	109
4	Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF	111
4.1	Methodik	112
4.1.1	Studienbasis	112
4.1.2	Studienqualität	113
4.1.3	Evidenzbewertung	115
4.1.4	Die Evidenzmatrix	121
4.1.5	Exkurs: Dosimetrie/Exposimetrie	126
4.2	Darstellung des Forschungsstands mittels grafischer Tabellen	127
4.3	Ausgangspunkt: DMF	129
4.3.1	Charakterisierung	129
4.3.2	Befundlage Biologie/Gesundheit	130
4.3.3	Wissensstand DMF – grafische Darstellung	139
4.4	Nachfolgeaktivitäten des DMF	143
4.5	Gesamtschau der Evidenz aus internationalen Forschungsprojekten	147
4.5.1	Überblick	148
4.5.2	Vergleich mit dem DMF-Hauptprogramm	151
4.5.3	Wichtige Fortschritte bei Dosimetrie und Exposimetrie in Untersuchungen	157
4.5.4	Defizite bei experimentellen und epidemiologischen Untersuchungsdesigns	158
4.6	Fazit	159
5	Mögliche gesundheitliche Wirkungen bzw. Risiken durch HF-EMF speziell bei Kindern und älteren Menschen	161
5.1	Ergebnisse	167
	Berücksichtigte Studien	167
5.1.1	Wirkungen auf Kinder in experimentellen Studien	167
5.1.2	Wirkungen auf Kinder in epidemiologischen Studien	170
5.1.3	Wirkungen auf ältere Menschen in der epidemiologischen Studie	186

5.2	Zusammenfassende Bewertung	187
5.2.1	Wirkungen und Evidenz in experimentellen Studien	187
5.2.2	Wirkungen in epidemiologischen Studien zu Kindern	188
5.3	Fazit	192
6	Erkenntnisse, Herausforderungen und Forschungsbedarf bei HF-EMF	195
6.1	Wissenslücken und Forschungsbedarf	195
6.2	Neue Erkenntnisse aus zwei Langzeittierstudien	199
6.3	Auswirkungen von HF-EMF speziell bei Kindern und Jugendlichen	206
6.4	Exkurs 5G	209
6.4.1	Produkte und Anwendungen	210
6.4.2	Verbreitung und Trends	211
6.4.3	Technische Daten	211
6.4.4	Exposition	212
6.4.5	Mögliche gesundheitliche Wirkungen	213
6.5	Risikogovernance	215
7	Literatur	221
7.1	In Auftrag gegebene Gutachten	221
7.2	Weitere Literatur	221
8	Anhang	243
8.1	Ergänzungen, Erläuterungen und weitere Quellen zu Kapitel 4	243
8.1.1	DMF und Folgeaktivitäten	243
8.1.2	Ergebnisse der Länderstudien	251
8.1.3	Publikationen im Kontext der Studienbasis	349
8.2	Ergänzungen/Anhänge zu Kapitel 5	387
8.2.1	Übersicht über die Studienpopulationen und Kohorten, die in den Publikationen in diesem Review untersucht wurden	387
8.2.2	Epidemiologische Studien zum Verhalten von Kindern und Jugendlichen (n = 9)	390



8.2.3 Epidemiologische Studien zur Entwicklung von Kleinkindern (n = 4)	401
8.2.4 Einordnung der einzelnen Studien in eine der drei Qualitätskategorien (hoch, moderat, gering), basierend auf dem Biasrisiko für einzelne Kriterien am Beispiel der experimentellen Studien	405
8.3 Literatur zu Kap. 8.1 und 8.2	406
8.4 Abbildungen	427
8.5 Tabellen	427
8.6 Abkürzungen	429

Zusammenfassung

Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) sind Grundlage digitaler, kabelloser Kommunikation z.B. zwischen WLAN-Routern und Rechnern, Tablets und nicht zuletzt Mobiltelefonen im gesamten öffentlichen Raum und in praktisch allen privaten Haushalten. In den kommenden Jahren ist von einer weiteren Zunahme von EMF-Quellen verschiedenster Frequenzbereiche auszugehen. Als Hauptgrund hierfür gilt die rasante, umfängliche Digitalisierung nahezu aller Arbeits-, Lebens- und Wirtschaftsbereiche, womit zugleich die mobil einzusetzenden Technologien verbunden sind. Aber auch der Stromnetzausbau sowie die Forcierung von Elektromobilität und autonomem Fahren tragen zu einem verstärkten Auftreten von EMF bei. Es ist daher zu erwarten, dass die Exposition der Bevölkerung mit EMF zukünftig ansteigen wird.

Der vorliegende Bericht stellt den aktuellen Sachstand zu möglichen gesundheitlichen Risiken der hochfrequenten elektromagnetischen Felder insbesondere des Mobilfunks (sowie damit zusammenhängender Mobilfunknetze wie etwa WLAN, Bluetooth) zusammenfassend dar. Hierfür wurde in großem Umfang wissenschaftliche Literatur gesichtet und ausgewertet. Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf eine transparent dargelegte Unterscheidung zwischen evidenzbasierten wissenschaftlichen Befunden und möglichen Interpretationen seitens politischer Akteure, gesellschaftlicher Gruppen bzw. spezifischer Stakeholder gelegt. Intention dieses Berichts ist es, sowohl für die Politik als auch für die interessierte Öffentlichkeit die Qualität und somit resultierende Aussagekraft des derzeitigen wissenschaftlichen Sachstandes zu EMF nachvollziehbar darzulegen. Der Kern der Darstellung ist evidenzorientiert, d. h., der wissenschaftliche Gehalt der Forschungsbefunde wird referiert. Eine (politische oder sonstige) Interpretation der Befunde wurde nicht vorgenommen.

Im Rahmen des TA-Projekts wurden die Ergebnisse aus aktuellen nationalen und internationalen Forschungsprojekten gesichtet und insbesondere darauf hin analysiert, ob relevante bzw. neue Erkenntnisse vorliegen, die substanziell die Diskussionen zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen bzw. Risiken der HF-EMF verändern könnten. Es erfolgte zudem auch eine Fokussierung auf Forschungsbemühungen, die zur besseren Risikobewertung der Exposition von jungen Menschen einen substanziellen Beitrag leisten (könnten). Da die heutigen Kinder und Jugendlichen vermutlich lebenslang und in zunehmendem Maße EMF ausgesetzt sein werden, ist die Frage nach möglichen Langzeitwirkungen von großer Bedeutung.

Da zur neuesten 5. Mobilfunkgeneration (5G), die sich gerade in der Markteinführung befindet, noch kaum publizierte Forschungsergebnisse zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen vorliegen, konnte dieses Thema lediglich in Form eines prospektiven Exkurses behandelt werden. Dies betrifft insbe-

sondere den Bereich der sehr hohen Frequenzen (Millimeterwellen). Die ersten Ausbauschritte von 5G nutzen allerdings Frequenzbereiche, die bereits heute für Mobilfunk und ähnliche Anwendungen eingesetzt werden. Daher sind hier die vorliegenden Forschungsergebnisse in vielen Fällen und mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit analog übertragbar.

EMF-Quellen und Expositionsszenarien

Als Basis für die Bewertung möglicher gesundheitlicher Auswirkungen waren zunächst Art und Umfang der EMF-Exposition zu klären. Dazu wurde im Bericht u.a. untersucht, welche HF-EMF in welcher Form und in welcher Stärke durch welche Geräte und Anlagen generiert werden. Mögliche kumulative Effekte durch gleichzeitig wirksame EMF-Quellen unterschiedlicher Frequenzen wurden ebenfalls berücksichtigt. Darauf aufbauend wurden Expositionsszenarien entwickelt und untersucht, ob auch unter ungünstigen bzw. Worst-Case-Annahmen die jeweiligen Grenzwerte für die EMF-Exposition eingehalten werden können, die zum Schutz der Bevölkerung vor möglichen gesundheitlichen Risiken durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in Deutschland gelten. Dies diente auch dazu, mögliche Erkenntnislücken und Forschungsbedarfe in diesem Themenfeld zu identifizieren. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass trotz zum Teil sehr ungünstiger Expositionsannahmen in den untersuchten Expositionsszenarien die Grenzwerte der magnetischen Flussdichte, der Leistungsflussdichte oder der spezifischen Absorptionsrate (SAR) im Allgemeinen (zumeist deutlich) unterschritten werden.

Die SAR bezeichnet die Energie, die in einer bestimmten Zeit von einem biologischen Gewebe aus einem EMF aufgenommen und in Wärme umgewandelt wird, bezogen auf die Masse des Gewebes. Geräte mit einer Sendeleistung kleiner unter 20 mW können den SAR-Grenzwert von 2 W/kg (gemittelt über 10 g Körpergewebe) aus physikalischen Gründen nicht erreichen. Eine Vielzahl der Funkgeräte, die in Haushalten verwendet werden, wie WLAN, Bluetooth, DECT und Smarthomesender, liegen mit ihren typischen Sendeleistungen unterhalb des Wertes von 20 mW. Solche Geräte können daher, selbst bei direktem Kontakt mit Personen, nicht zu einer Grenzwertüberschreitung führen.

Darüber hinaus nehmen Leistungsflussdichten – also die Energie, die pro Zeiteinheit eine Fläche senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Strahlung durchströmt – mit der Entfernung von der Quelle sehr schnell ab (Abnahme proportional zum Quadrat der Entfernung). Dadurch treten die höchsten Expositionen durch solche Sendeeinrichtungen auf, die unmittelbar an den Körper gehalten werden (z. B. Mobiltelefon, Laptop, Tablet) bzw. denen die exponierte Person sich sehr stark nähert (z. B. Induktionsherd, Fahrersitz beim induktiven Fahrzeugladen). Ferne Quellen (z. B. Basisstationen von GSM, UMTS, LTE und WiMAX)



führen demgegenüber zu sehr viel niedrigeren Expositionen, auch wenn sie eine deutlich höhere Leistung aufweisen.

Die Ergebnisse der Untersuchung ausgewählter Expositionsszenarien stellen sich wie folgt dar: Grenzwerte der Leistungsflussdichte werden in den Expositionsszenarien zu maximal 2,4% (ungünstige Annahmen) bzw. 10,6% (Worst Case) ausgeschöpft. Verantwortlich sind dafür die Expositionen durch Basisstationen vor allem von GSM und WiMAX im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk«, während Expositionen durch digitalen Hörfunk und digitales Fernsehen von untergeordneter Bedeutung sind.

Im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich« wird der Grenzwert der magnetischen Flussdichte, welche die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschreibt, durch die Nutzung eines Induktionsherds zu etwa 30% ausgeschöpft. Ein im Worst Case eingeschalteter Mikrowellenherd mit Leckstrahlung führt zusätzlich zu einer Grenzwertausschöpfung der Ganzkörper-SAR von 7%.

Die höchste Ausschöpfung von Grenzwerten ergab sich für die Kopf/Rumpf-SAR, wenn die Nutzung eines Mobiltelefons oder Tablets mit relativ ungünstigen Strahlungseigenschaften angenommen wird (Ausschöpfung bis 64%). Die höchsten individuellen Expositionen resultieren aus der Nutzung solcher Endgeräte, die ungünstige Strahlungseigenschaften besitzen. Auch andere Untersuchungen kommen zum Ergebnis, dass ein Endgerät am Kopf stets die Immission dominiert.

Hinsichtlich einer Exposition mit HF-EMF im öffentlichen Raum durch induktives Laden von Elektrofahrzeugen lässt sich auf dem derzeitigen Kenntnisstand noch keine Abschätzung machen. Sicher ist aber, dass das induktive Laden von Elektrofahrzeugen mit relativ hohen HF-EMF-Expositionen verbunden sein kann. Dieser Problematik sollte bei der weiteren technischen Entwicklung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Grenzwerte und Risikogovernance für elektromagnetische Felder

Die Grundlage für die Festsetzung von Grenzwerten sind die wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken. Da ein klarer wissenschaftlicher Nachweis für gesundheitliche Effekte von HF-EMF bislang nur für thermische Wirkungen geführt werden konnte, zielen die Grenzwerte darauf ab, gesundheitsrelevante Wärmebelastungen des Körpers durch HF-EMF zu verhindern. Bezüglich möglicher nichtthermischer Wirkungen mit gesundheitlichen Auswirkungen existiert eine Vielzahl von Studien unterschiedlicher Qualität mit teils widersprüchlichen bzw. inkonsistenten Resultaten. Ob und ggf. wie diese Evidenzen bei der Festsetzung von Grenzwerten für HF-EMF zu berücksichtigen sind, wird in Fachkreisen und in der breiten Öffentlichkeit zum Teil sehr kontrovers diskutiert. Im konventionellen Ansatz, der von den zuständigen Behörden verfolgt

wird, werden sie bei der Setzung von Grenzwerten nicht berücksichtigt, sondern führen zur Empfehlung von Vorsorgemaßnahmen.

Die in Deutschland gültigen Grenzwerte gehen auf Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) zurück. Diese Empfehlungen nehmen international eine herausgehobene Stellung ein. So stützen sich auch die Richtlinien und Empfehlungen der EU und die Grenzwerte vieler weiterer Länder auf sie. Die ICNIRP-Empfehlungen zur Begrenzung der Exposition durch HF-EMF zielen darauf ab, sicherzustellen, dass die Temperaturerhöhung im Körpergewebe den Wert von 1 °C nicht überschreitet. Für den Fall der gleichzeitigen Exposition durch Felder unterschiedlicher Frequenzen hat die ICNIRP eine Reihe von Rechenvorschriften entwickelt, wie die verschiedenen Wirkungen dieser Exposition zu summieren sind, und hat zur Begrenzung der Gesamtexposition bestimmte Bedingungen empfohlen.

Im März 2020 hat die ICNIRP ein Update ihrer HF-EMF-Richtlinien für den Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz publiziert. Es ersetzt die bisher gültigen Richtlinien von 1998 und 2010, soweit sie sich auf diesen Frequenzbereich beziehen. Das Update bezieht Fortschritte der wissenschaftlichen Erkenntnisse der letzten Jahre ein, sowohl bezüglich der biologischen bzw. gesundheitlichen Wirkungen von EMF als auch der Dosimetrie bzw. dem präziseren Verständnis bestimmter Expositionsszenarien. Damit soll die neue Richtlinie detailreicher, genauer und zukunftsicherer sein, gleichzeitig ist sie aber gegenüber den alten Richtlinien deutlich komplexer. Gleich geblieben ist die Begründung für die Begrenzung der Exposition: im Frequenzbereich bis 10 MHz soll die Stimulation von Nerven und bei höheren Frequenzen die Erwärmung des Gewebes begrenzt werden. Über die thermischen Effekte von HF-EMF hinausgehende gesundheitliche Auswirkungen werden wie bisher als nicht hinreichend wissenschaftlich belegt angesehen, um daraus Restriktionen ableiten zu können.

Im Grundsatz ist die Setzung von Grenzwerten ein Ergebnis eines Risikogovernanceprozesses. In Deutschland und in vielen Ländern weltweit ist die Strategie der Risikogovernance im Umgang mit möglichen Gesundheitsrisiken durch HF-EMF wegen der hervorgehobenen Rolle der ICNIRP-Empfehlungen stark bzw. fast ausschließlich expertenzentriert. Dies ist insofern diskussionswürdig, als hierdurch die Festlegung der Rahmenbedingungen für die Risikobewertung, die Risikobewertung selbst und die Entscheidung darüber, welche Konsequenzen (in diesem Fall Grenzwerte) daraus abzuleiten sind, faktisch ausschließlich einem Expertengremium überlassen werden. Infolgedessen stützt sich auch die Begründung für die Erforderlichkeit bzw. Angemessenheit der Regulierung unmittelbar (und oft ausschließlich) auf das Fachwissen eines Expertengremiums. Hingegen werden die Belange möglicher Risikoträger bzw. anderer gesellschaftlicher Gruppen formal erst im Rahmen der Umsetzung von Maßnahmen des Risikomanagements im Zuge eines Gesetzgebungsverfahrens einbezogen. Die letztlich somit recht geringe Anzahl der über diese Wege am Diskurs beteiligten Expert/

innen, (betroffenen) Personenkreise und auch Institutionen führt mitunter zu dem Vorwurf einer fehlenden Unvoreingenommenheit bzw. eines interessengeleiteten Agierens und Entscheidens, wie auch zur Entstehung und Perpetuierung einer Lagerbildung, deren jeweilige Protagonisten nicht in einem konstruktiven Diskurs zueinander finden.

Forschungsstand und Forschungsbedarf zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF

Für den Bericht wird eine Einordnung relevanter Forschungsarbeiten zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen und Risiken von HF-EMF vorgenommen. Dazu wurden die Ergebnisse aus aktuellen nationalen und internationalen Forschungsprojekten gesichtet und analysiert, ob relevante neue Erkenntnisse vorliegen, die substanziell die Diskussionen zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen bzw. Risiken der HF-EMF verändern könnten. Als Ausgangspunkt wurden die Befunde des 2008 zu Ende gegangenen Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms (DMF) gewählt. Der Fokus lag darauf herauszuarbeiten, welchen wissenschaftlichen Erkenntniszuwachs neuere Forschungsergebnisse (ab 2010) über die Ergebnisse des DMF hinaus erbracht haben.

Für die Bewertung der neueren wissenschaftlichen Erkenntnisse zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF wurden Publikationen von Forschungsprogrammen ausgewählter europäischer Länder (inklusive der EU) ab dem Jahr 2010 gesichtet. Ergänzend dazu wurden über 250 wissenschaftliche Publikationen (mehrheitlich ab dem Erscheinungsjahr 2010) aus anderen Regionen ausgewertet.

Für die Analyse wurden nur Studien berücksichtigt, die bestimmte Mindeststandards der wissenschaftlichen Qualität erfüllen. Insgesamt wurden für diesen Bericht etwa 330 in wissenschaftlichen Zeitschriften publizierte Artikel hinsichtlich ihrer Qualität bewertet. Etwa 120 (ca. 36%) wurden als qualitativ ungenügend beurteilt. Keiner Qualitätsprüfung unterzogen wurden die Studien, die im Rahmen des DMF-Programms durchgeführt wurden, da diese als Beurteilungsbasis für die Bewertung des seitdem erzielten Wissensfortschritts dienen. Darüber hinaus wurden auch Publikationen nicht geprüft, bei denen es sich nicht um primäre Fachpublikationen handelt, also insbesondere Übersichtsartikel, Reviews, Projektberichte sowie Berichte von Experten- und Beratungsgremien.

Zur Charakterisierung, wie sich die wissenschaftliche Beweislage bzw. das Maß an Unsicherheit des Wissens bei einem untersuchten Sachverhalt darstellt, wurde ein Klassifikationssystem verwendet, das sich an die von der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) verwendeten Bewertungskategorien anlehnt. Zugleich wurde für den vorliegenden Bericht von der durch die schweizerische Forschungstiftung Strom und Mobilkommunikation (FSM) an der ETH Zürich entwickelten Evidenzmatrix Gebrauch gemacht. Diese gliedert das

gesamte Analysefeld nach den beiden Dimensionen *Studientypen* (Humanstudien, Tierstudien und Zellstudien) und gesundheitliche Fragestellungen (*Endpunkte* der Forschung). Diese Herangehensweise erlaubt eine differenzierte Darstellung des Erkenntnisstands und spezifische Aussagen zur wissenschaftlichen Risikoeinschätzung.

Obwohl für etliche gesundheitliche Fragestellungen in den letzten 10 Jahren eine Vielzahl an wissenschaftlichen Publikationen erschienen sind, bewegt sich der Erkenntnisfortschritt nur in kleinen Schritten. Häufig kann auch in Studien von hoher wissenschaftlicher Qualität die An- oder Abwesenheit eines bestimmten biologischen bzw. gesundheitlichen Effekts nicht konsistent nachgewiesen werden. Somit ist die Evidenzlage vielfach unübersichtlich und der Forschungsbedarf zur Klärung offener Fragen bleibt anhaltend hoch.

Insgesamt gesehen zeigt sich die aktuelle Erkenntnislage wie folgt: Evidenz verdichtet sich dahingehend, dass HF-Exposition das Verhalten von Labortieren beeinflusst. Auch gibt es eine Reihe von ernstzunehmenden Hinweisen, dass HF-EMF das *Tumorrisiko* bei ausgewählten Tumoren (Herz, Lunge, Leber, Lymphe) erhöhen. Vor allem die Ergebnisse zweier großer, qualitativ hochwertiger Studien aus dem Jahr 2020 haben dazu geführt, dass diese Befundlage intensiv diskutiert wird). Ebenfalls bei Tierstudien sind Hinweise gefunden worden, dass HF-EMF einen Einfluss auf *neurodegenerative Erkrankungen* haben könnten. Möglicherweise spielt dabei eine unter HF-EMF-Exposition höhere Anzahl *Sauerstoffradikale* in Zellen eine Rolle. Der Nachweis dieses Effekts in Zellstudien ist zwar noch nicht überzeugend, aber neuere Tierstudien stützen mit limitierter Evidenz diesen Befund. Im Hinblick auf Krebsentstehung können neuere Tierstudien erhöhte Inzidenzen zeigen. Danach zeigen sich bei Mäusen, die mit einem karzinogenen Stoff (hier: Ethylnitrosoharnstoff) behandelt wurden, mehr Leber- und Lungentumore sowie erhöhte Werte von Lymphomen, wenn die Tiere gegenüber HF-EMF exponiert werden. Allerdings konnte kein klarer Dosis-Wirkung-Zusammenhang gefunden werden.

Auch bei neueren Humanstudien werden Hinweise auf einige (negative) Wirkungen von HF-EMF in Erwägung gezogen. Sie betreffen eine mögliche Beeinflussung des Schlafs, wobei die Nachweise insgesamt inadäquat sind. Nur bei Kindern konnte ein limitierter Nachweis hinsichtlich Einschränkungen der Schlafqualität geführt werden. Auch weisen experimentelle Studien auf einen negativen Einfluss auf das Wachstum von Neuriten (langgestreckte Fortsätze von Nervenzellen) hin. Sollten sich diese Resultate replizieren und bestätigen lassen, wäre dies für die Entwicklung von neurodegenerativen Erkrankungen von großer Relevanz, denn Neuriten sind Vorstufen von Dendriten und Axonen. Aufgrund der zahlreichen möglichen Auswirkungen auf neurodegenerative Erkrankungen sowie auf die Kognition sollten diese Aspekte in weiteren Forschungen abgeklärt werden.

Nicht unterschätzt werden sollte, dass die gesellschaftliche und/oder politische Perspektive sich durchaus von der rein wissenschaftlichen Perspektive unterscheiden kann. Politisch relevant erscheinen vor allem die Aspekte bzw. Forschungspunkte, die in der öffentlichen Debatte präsent sind und bei denen noch kein abschließendes wissenschaftliches Urteil gefällt werden kann. Dabei handelt es sich insbesondere um die genannten Krebserkrankungen, Einflüsse auf Kognition und Schlaf (mit speziellem Fokus auf Kinder) sowie einen möglichen Zusammenhang mit neurodegenerativen Erkrankungen. In einer Gesamtabwägung wird folgender Forschungsbedarf gesehen:

- Adaptive Response: Neuere Tierstudien zeigen eine adaptive Antwort bei Exposition mit HF-EMF vor Einwirkung mit anderen Noxen. EMF dämpft teilweise die schädlichen Einflüsse. Es sollte abgeklärt werden, wie stichhaltig diese Befunde sind. Unter anderem könnten sich daraus gezielte Hinweise hinsichtlich möglicher (relevanter) Wirkmechanismen ergeben.
- Kognition und Schlaf: Den Hinweisen, dass das Gehirn auf HF-EMF Exposition unterhalb der Grenzwerte reagieren kann, sollte nachgegangen werden. Insbesondere die Frage der gesundheitlichen Bedeutung dieser Effekte sollte abgeklärt werden. Für belastbare Aussagen müssen Studien jedoch von hoher methodischer Qualität sein. Erkenntnisse zur inter- und intraindividuellen Variabilität bzw. Reproduzierbarkeit der Effekte wären sehr hilfreich für die Beurteilung ihrer Relevanz.
- Neurodegenerative Krankheiten: Aus einer Zell- und einer Tierstudie liegen Hinweise auf Einflüsse der HF-EMF-Exposition auf das Wachstum von Neuronen vor. Aufgrund der Bedeutung dieser Beobachtung für neurodegenerative Erkrankungen und kognitive Funktionen sollten diese Beobachtungen unbedingt weiter abgeklärt werden.
- Elektrohypersensibilität: Studien mit elektrosensiblen Personen könnten eine wissenschaftliche Grundlage schaffen, um das Symptombild EHS (Elektrohypersensibilität) wissenschaftlich besser zu verstehen. Dazu wäre es notwendig, eine Gruppe von Personen zu identifizieren, die nachweislich eine spezifische Sensibilität hinsichtlich HF-EMF aufweisen. Dies würde sowohl Untersuchungen bezüglich verschiedener biologischer Endpunkte vereinfachen als auch mögliche Effekte klarer zeigen.
- Synergistische Effekte: Hier stehen ältere Menschen und solche, die unter chronischen Krankheiten leiden, im Fokus. Um abzuklären, ob HF-EMF ein krankheitsverstärkender Stressor ist, wäre ein entsprechendes Monitoring hilfreich. Diese Annahme wird durch Hinweise gestützt, dass bei HF-EMF-Exposition eine Stressreaktion auf zellulärer Ebene in vitro und in vivo stattfindet.

Spezielle Aspekte und Erkenntnisse aus zwei neuen Langzeittierstudien – Krebsentstehung und -promotion

In jüngster Zeit wurden die Ergebnisse von zwei großangelegten Tierstudien veröffentlicht, die weltweit Aufmerksamkeit erregt haben. Diese Langzeitstudien wurden unabhängig voneinander in den USA und in Italien durchgeführt, mit einer vergleichsweise untypisch hohen Anzahl an Nagern. Beide Studien kamen zu dem Befund, dass die Exposition mit HF-EMF zu einem erhöhten Auftreten von Herz- und Hirntumoren führt. Was dieser Befund für die Bewertung gesundheitlicher Auswirkungen von HF-EMF bei Menschen bedeutet ist allerdings umstritten: Für manche Expert/innen und Expertengremien liefern die zwei Studien erneut Verdachtsmomente aber keine eindeutigen Hinweise, dass Mobilfunkstrahlung negative gesundheitliche Effekte verursacht. Für andere wiederum sind die dabei gewonnenen Erkenntnisse Grund genug, die IARC-Einstufung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern, die bislang als »möglicherweise krebserregend« galten, als »krebserregend« einzustufen bzw. auch die bisherigen HF-EMF-Grenzwerte zu erniedrigen.

Die für Fragen der Ernährung und Medikamente zuständige amerikanische FDA, die ICNIRP sowie das deutsche Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) kommen zu dem Schluss, dass die neue Evidenzlage keinen Beweis für ein erhöhtes Krebs Erkrankungsrisiko für Menschen bei einer Exposition unterhalb der Grenzwerte durch Mobiltelefonnutzung darstellt. Aus Sicht des BfS sind die Befunde als Hinweise für die Karzinogenität von Mobilfunk bei einer Exposition deutlich oberhalb der Grenzwerte zu bewerten. Für das schweizerische Expertengremium BERENIS sollen diese Hinweise im Kontext anderer verfügbarer Studien berücksichtigt werden, um abzuschätzen, ob die Grenzwerte geändert werden sollen.

Dieser Fall illustriert, wie ausgehend von wissenschaftlichen Ergebnissen zu den gesundheitlichen Auswirkungen von EMF unterschiedliche Handlungsnotwendigkeiten abgeleitet werden.

Mögliche gesundheitliche Risiken durch HF-EMF bei Kindern und älteren Menschen

Mögliche gesundheitliche Auswirkungen von EMF besonders für junge Menschen rückten erstmals durch den im Jahr 2000 veröffentlichten britischen Stewart-Report in den Blickpunkt. Hier wurde auf die besondere Empfindlichkeit von Kindern und Jugendlichen gegenüber Mobilfunkstrahlung im Hinblick auf das sich entwickelnde Nervensystem, die Besonderheiten von Anatomie und Physiologie im Kopfbereich sowie die (prospektiv) längere Exposition aufgrund der Lebenszeit im Vergleich zu Erwachsenen hingewiesen. Zahlreiche Publikationen und Reviews stützten die Annahmen aus dem Stewart-Report, dass Kinder aufgrund ihrer Anatomie und Physiologie im Vergleich zu Erwachsenen stärker

exponiert sind. Nach Meinung etlicher Expert/innen und auch der WHO müssten Kinder grundsätzlich für empfindlicher gegenüber HF-EMF als Erwachsene angesehen und deswegen entsprechend gesondert betrachtet werden.

Obwohl sich etliche Autor/innen und Behörden mit einem möglicherweise erhöhten Risiko für die Gesundheit von Kindern und Jugendlichen im Kontext von Mobilfunk und seinen Anwendungen beschäftigt haben, ist die wissenschaftliche Evidenz, ob EMF von Funktechnologien tatsächlich eine besondere Gefahr für Kinder und Jugendliche darstellen, bislang unklar. Eine systematische Auswertung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstands dazu gab es bis dato nicht. Viele Länder, so auch Deutschland, berücksichtigen dies bei der Festlegung der Basisgrenzwerte für HF-EMF-Belastungen durch einen pauschalen Sicherheitsfaktor von 50. Das heißt, die Grenzwerte liegen 50-fach unter den Werten, für die (nachweislich) gesundheitliche Wirkungen auftreten könnten, um so auch empfindliche Personengruppen wie Kinder und ältere Personen ausreichend zu schützen.

Die Darstellungen im vorliegenden Bericht fußen auf den diesbezüglich aktuellen Analysen (bis 2019) sowie auf Erkenntnissen und Aussagen des Forschungszentrums für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) der Uniklinik RWTH Aachen. Dazu wurde der Forschungsstand nach den Preferred-Reporting-Items-for-Systematic-Reviews-and-Meta-Analyses-(PRISMA-)Richtlinien aufgearbeitet. Es wurden 36 epidemiologische und 12 experimentelle Studien möglichen biologischen und gesundheitlichen Folgen von HF-EMF bei Kindern und Jugendlichen sowie eine entsprechende epidemiologische Studie für ältere Menschen systematisch analysiert und bewertet. In 34 Studien wurde die Nutzung eines Mobiltelefons untersucht, in 2 Studien die Exposition bei Mobilfunkbasisstationen und 13 Studien untersuchten die Nutzung eines Mobiltelefons zusammen mit der Exposition z. B. bei Basisstationen, Fernseh- und Rundfunksendern.

In insgesamt 17 Studien fanden sich Hinweise auf verschiedene Wirkungen. In den epidemiologischen Studien wurden Auffälligkeiten im Verhalten am häufigsten beschrieben, insbesondere bei Kindern, die selbst telefonierten oder die während der Schwangerschaft ihrer Mütter in utero exponiert waren. Darüber hinaus gaben Kinder und Jugendliche gesundheitliche Beschwerden (Kopfschmerzen, Müdigkeit etc.) an, wenn sie mit dem Mobil- bzw. Smartphone telefonierten. Ebenso wurden Wirkungen auf die Kognition bei Jugendlichen beobachtet. In den experimentellen Studien gab es einzelne Hinweise auf Veränderungen der Hirnaktivität, des Hautwiderstands und eine Beeinträchtigung der kognitiven Leistungsfähigkeit.

Die einzige epidemiologische Studie zu Senioren zeigte keine statistisch signifikanten Ergebnisse in Bezug auf die Frage, ob die Nutzung von Mobiltelefonen einen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit für Hirntumore hat.

Die meisten Studien weisen jedoch eine Reihe von methodischen Schwächen auf, die die Validität der Ergebnisse einschränken. Nur drei epidemiologische Studien und eine experimentelle Studie, die eine Wirkung der HF-EMF-Exposition fanden, hatten ein geringes Biasrisiko und wurden dementsprechend einer hohen Studienqualität zugeordnet. Bei den anderen 13 Publikationen mit Hinweisen auf Wirkungen wurde die Studienqualität mit moderat oder gering bewertet. Daher sollten zukünftige Studien gezielter Biasrisiken bezüglich des Designs, der Durchführung sowie der Dokumentation der Studie minimieren. Hierbei sollten insbesondere die Schlüsselfaktoren Verblindung, Expositionsbestimmung sowie die vollständige Beschreibung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Aufgrund der insgesamt quantitativ und qualitativ unzureichenden Studienlage kann die Evidenz für Wirkungen von Mobilfunk auf die Kognition, das Verhalten und subjektive Beschwerden bei Kindern und Jugendlichen nicht abschließend beurteilt werden. Die unzureichende Studienlage insbesondere im Hinblick auf möglich negative gesundheitliche Auswirkungen ist zugleich derzeit nicht ausreichend, um Wirkungen (insbesondere Langzeitwirkungen) auszuschließen. Für Wirkungen auf die frühkindliche Entwicklung, Krebs und physiologische Parameter ist die Datenlage unzureichend, um eine Schlussfolgerung über etwaige Wirkungen abzuleiten. Als problematisch anzusehen ist der Fakt, dass bis dato auch immer noch keine, auf Studien beruhende, dezidierte Aussage darüber getroffen werden kann, ob Kinder und Jugendliche grundsätzlich empfindlicher auf eine Mobilfunkexposition reagieren als Erwachsene. Dies wäre jedoch von enormer Relevanz. Zu den möglichen Wirkungen auf ältere Menschen können auf Basis einer einzelnen Studie keine Schlussfolgerungen gezogen werden.

Es besteht somit weiterhin eine große Notwendigkeit zur Durchführung qualitativ hochwertiger Studien in den Altersgruppen von Kindern und Jugendlichen, in denen insbesondere das Risiko für Hirntumor stärkere Berücksichtigung finden sollte. Auch sollten die Ergebnisse der epidemiologischen Studien zu Verhaltensauffälligkeiten, kognitiven Fähigkeiten und gesundheitlichen Beschwerden in Kohortenstudien mit objektiver prospektiver Expositionsbestimmung überprüft werden. Außerdem besteht ein Bedarf an qualitativ hochwertigen experimentellen Studien zu den Wirkungen auf das Nervensystem. Zukünftige experimentelle Studien sollten eine größere Anzahl an Kindern und Jugendlichen und unterschiedliche Altersklassen berücksichtigen.

Anmerkungen zur Forschungsförderung

Eine evidenzbasierte informierte gesellschaftliche und politische Diskussion in Bezug auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen von HF-EMF und die diesbezügliche Risikovorsorge (vor allem Grenzwertsetzung) ist auf die Ergebnisse der internationalen wissenschaftlichen Studien zu diesem Themengebiet angewiesen. Grundsätzlich ist bei der Forschungsförderung eine proaktive oder eine

reaktive Strategie möglich. Im ersten Fall würde systematisch und kontinuierlich in Primärforschung investiert, um offene Fragen zu klären und die Risikodebatte konstruktiv voranzubringen. Die reaktive Strategie würde bedeuten, lediglich den internationalen Wissensfortschritt zu beobachten, um bei Bedarf (wissenschaftlich, politisch) entsprechende Forschungsaktivitäten zu lancieren. Es ist allerdings zu beachten, dass die in Deutschland im Zuge des DMF und seiner Nachfolgeaktivitäten aufgebauten zum Teil hochspezialisierten Forschungskapazitäten und -kompetenzen ohne eine kontinuierliche Mittelausstattung nicht aufrechterhalten werden können. Trocknet die EMF-Forschungscommunity in Deutschland aus, müssten möglicherweise zu einem späte(re)n Zeitpunkt lancierte Projekte bspw. zu den gesundheitlichen Auswirkungen der neuen 5G-Technologien ins Ausland vergeben werden.

Bei der Forschungsförderung sollte auf jeden Fall auf höchstmögliche Qualität der vorgeschlagenen Experimente und Methoden geachtet werden. Diese aus wissenschaftlicher Sicht selbstverständliche Empfehlung erhält im Zusammenhang mit möglichen Gesundheitsrisiken von EMF eine erhebliche gesellschaftliche und auch wirtschaftliche Relevanz. Nur bei hoher wissenschaftlicher Qualität kann seriös geprüft werden, ob eine Wirkung kausal ist oder ein Artefakt der (mangelhaften) Anlage bzw. Durchführung der Studie.

Beobachtungen der Forschungslandschaft und Erfahrungen aus den letzten Jahren zeigten immer wieder, dass etwa manche Risikohypothesen nur von einem einzigen Forschungsteam mit einer bestimmten Methode untersucht wurden. Gerade in einem so kontrovers diskutierten Themenfeld wie dem der gesundheitlichen Risikopotenziale der EMF beim Mobilfunk ist jedoch die unabhängige Reproduktion und Validierung von Forschungsergebnissen durch unterschiedliche (auch internationale) Forschungsgruppen hoch relevant. Wichtig ist außerdem, dass die Unabhängigkeit der Forschung nachvollziehbar gegeben ist sowie größtmögliche Transparenz bezüglich ggf. bestehender Interessenkonflikte hergestellt werden kann.

Exkurs 5G-Technologien

Unter 5G ist ein Bündel unterschiedlicher technologischer Innovationen zu verstehen, die – in einem ersten Ausbauschnitt – mehr oder weniger für dieselben Frequenzbereiche verwendet werden, die schon jetzt umfassend genutzt werden, aber in weiteren Ausbauschnitten perspektivisch auch deutlich höhere Frequenzbereiche nutzen sollen. Zu 5G gehören auch spezielle Datenübertragungstechniken und unterschiedliche Anwendungsgebiete wie etwa Mobiltelefonie, Industrie 4.0, Cloud Gaming, Internet of Things, selbstfahrende Autos etc. Welche Anwendungen der 5G-Technologie wann und in welchen Frequenzbereichen zur Anwendung kommen (werden), ist noch unklar. Nicht sicher ist ebenfalls, welche Art des Ausbaus letztendlich (sowohl in Deutschland als auch weltweit) erfolgen

soll: Wird etwa eine flächendeckende Versorgung über Sendestationen angestrebt oder geht es stärker um einen jeweiligen standortspezifischen Ausbau (im Sinne von Industrie 4.0)?

Wie sich die Exposition der Bevölkerung mit HF-EMF durch die Einführung von 5G verändern wird, ist vor diesem Hintergrund derzeit kaum abzusehen. Zumindest am Anfang der Entwicklung ist von einer erhöhten Gesamtexposition durch Mobilfunkwellen auszugehen, da 5G parallel zur alten Infrastruktur betrieben werden wird. Wenn später die Infrastruktur der älteren Funkstandards (GSM, LTE) ggf. obsolet geworden ist und zurückgebaut wird, könnte die Exposition auf ein ähnliches Niveau wie heute zurückgehen (bei UMTS [3G] ist der Rückbau bereits vollzogen, Ende 2021 wurde das 3G-Netz bundesweit abgeschaltet).

Die Einführung von 5G geschieht auf Frequenzbändern, die bereits früher für Mobilfunk- und andere Anwendungen genutzt wurden (bei 700 MHz, 2 GHz und 3,6 GHz). Die Sendeleistung von 5G Basisstationen wird in der gleichen Größenordnung erwartet, wie bei 4G. Wie sich die Charakteristika, in denen sich 5G von den älteren Funkstandards unterscheiden, auf die Exposition auswirkt, ist derzeit schwer abschätzbar. Das betrifft insbesondere eine Netztopologie aus kleinräumigeren Funkzellen sowie die Technologie des sogenannten Beam-Forming, die darauf abzielt, die Strahlungsleistung auf diejenigen räumlichen Bereiche zu konzentrieren, in denen sie tatsächlich genutzt wird. Für einen Anstieg der Exposition spricht, dass bei kleineren Funkzellen die Basisstationen ggf. näher an Orten betrieben werden, an denen Menschen sich aufhalten. Außerdem wird durch das Beam-Forming eine höhere Intensität von EMF in der Bündelungsrichtung erzeugt. Es ist aber auch eine Verringerung der Exposition möglich, da bei kleineren Zellen die Sendeleistung geringer ausfallen kann sowie Personen, die sich nicht in der Bündelungsrichtung aufhalten, weniger stark exponiert werden. Insgesamt wird erwartet, dass durch 5G die Streubreite möglicher Expositionen zunehmen wird. Vieles wird davon abhängen, wie die Netze letztlich konfiguriert und genutzt werden. Daher begleitet das Bundesamt für Strahlenschutz den 5G-Netzauf- und -ausbau mit Forschungsvorhaben zur Feldverteilung.

Bezüglich der möglichen Gesundheitsrisiken von 5G ist der Faktor Zeit maßgeblich. Denn solange es noch keine wesentlichen Expositionen gibt, können auch keine epidemiologischen Daten zu Rate gezogen werden. Zudem fehlt es bislang auch an gezielten Laborstudien, da diese auf reale Expositionssituationen von 5G angewiesen sind. Entsprechend wäre eine Aussage, dass 5G keine Gesundheitsrisiken mit sich bringt, verfrüht bzw. unangebracht. Auch von den allermeisten Expert/innen wird ein hoher Bedarf an gezielter, hochwertiger Forschung sowie an Definitionen für die zu erwartenden Expositionssituationen konstatiert. Es erstaunt daher nicht, dass sich derzeit viele Diskussionen – besonders in der Öffentlichkeit – auf die Fragen beziehen, ob Gesundheitsrisiken ausreichend belegt bzw. widerlegt sind und ob Grenzwerte entsprechend verändert oder gar ein Moratorium ausgerufen werden müsste.

Dabei gibt es durchaus etliche zielführende Optionen, auch bei eingeschränktem Wissensstand verantwortungsvoll und vorsorgend auf die von einigen vorgebrachten Gesundheitsbefürchtungen einzugehen: 1. Umsichtige Vermeidung, d. h., begleitend zu Grenzwertsetzungen sollte nur die niedrigste, sinnvoll erreichbare Belastung angestrebt werden. 2. Formulierung spezifischer Leitlinien für den Sendeanlagenbau, das technische Design von Endgeräten und die Gestaltung der Grundversorgungsinfrastruktur. 3. Gezielte Information zu den technischen Details aller geplanten Ausbaustufen, den tatsächlich erwartbaren Anwendungsbereichen, Geräten und Anlagen und damit zur erwartbaren Expositionssituation. 4. Förderung unabhängiger, nationaler und internationaler Forschung auf höchstem Niveau. 5. Neue Wege und Orte der Unsicherheits- und Risikoinformation und des Dialogs angesichts des hohen Bedarfs an Austausch der unterschiedlichen Akteure. 6. Evaluierung des Risikogovernancesystems im Hinblick auf die in der Regel institutionell getrennte Bearbeitung von Evidenzbeurteilung, Handlungsempfehlung und politische Entscheidung.

Evidenz und Kontextfaktoren

Die wissenschaftliche Beantwortung der Frage nach den »Gesundheitlichen Risiken des Mobilfunks« ist hochkomplex und eine abschließende Beweisführung für die Abwesenheit jedes hier relevanten Risikos ist per se nicht zu erwarten bzw. zu leisten. Es existieren auch unter wissenschaftlichen Expert/innen sehr unterschiedliche Sichtweisen und Herangehensweisen zur Interpretation und Bewertung der wissenschaftlich geklärten wie auch der ungeklärten Aspekte der gesundheitlichen Wirkungen von EMF – und diese unterschiedlichen Einsichten und Ansichten haben ihre jeweilige Berechtigung. Klar ist auch, dass eine rein evidenzbasierte Betrachtungsweise zwar eine unverzichtbare Grundlage darstellt, aber keinesfalls ausreicht, um eine umfangreiche Risikobewertung vorzunehmen, die im Problemfeld Mobilfunk bestehenden starken Interessen- und Wertekonflikte politisch bzw. gesellschaftlich anzugehen und über etwaige Vorsorgemaßnahmen zu bestimmen.

Zu konstatieren ist, dass es Grenzen der Modellierbarkeit, Untersuchbarkeit, Reproduzierbarkeit, Validierbarkeit, Erklärbarkeit und (widerspruchsfreien) Interpretierbarkeit gibt. Es ist davon auszugehen, dass es letztlich nicht möglich ist, den Evidenzstand zu diesem Themenbereich (ausschließlich) wissenschaftlich zu diskutieren, sinnvoll an die Öffentlichkeit zu kommunizieren oder in politischen Entscheidungen heranzuziehen, ohne die verschiedenen – und durchaus unterschiedlich als relevant angesehenen – Kontextfaktoren zu berücksichtigen. Darauf verweisen die jahrelangen Erfahrungen aus vergangenen Debatten um den Mobilfunk (und anderer ähnlicher komplexer und konfliktträchtiger Problemfelder wie etwa Grüne Gentechnik oder Kernenergie). Wird allein auf jenen Anteil der Evidenz fokussiert, der als wissenschaftlich bewiesen gilt, aber anderes

ausklammert (u.a. inadäquate und limitierte Evidenz, Hinweise, Wirkhypothesen ohne Evidenz, möglicher Bias), kann dies zur weiteren aufgeladenen Politisierung des Themas führen mit massiven »Sekundäreffekten« wie Emotionalisierung, Kommunikationsdefiziten, Lagerbildungen, Misstrauen und fehlender Transparenz.

Die häufig im Kontext des Problemfelds Mobilfunk zu konstatierende »Einbahnkommunikation« zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit oder auch Politik und Öffentlichkeit scheint sehr ungeeignet für zielführende Diskurse zu sein. Erfolgversprechender hingegen sind wechselseitiges Zuhören und der unvoreingenommene Dialog zwischen Wissenschaft, Öffentlichkeit und Politik. Wesentlich erscheint, Vertrauen aufzubauen und zu stärken, sodass individuelle Bedenken, Handlungsspielräume und Werthaltungen gehört und politisch ernst genommen werden (können). So wird es eher möglich sein, den bestehenden Sachstand und die hiermit verknüpften Unzulänglichkeiten und Kontroversen sinnvoll und zielführend einzuordnen und unter Berücksichtigung aller wissenschaftlich geklärten, kontroversen und ungeklärten Aspekte für gesellschaftliche Entscheidungsoptionen auszuhandeln. Gute Kenntnis des Sachstandes ist ebenso wichtig wie das Erkennen und Anerkennen von Interessen, Kontroversen, Wissenslücken und unterschiedlichen Risikokulturen. Dagegen kann der exklusive Verweis auf das Nachgewiesene Misstrauen schüren und eine sachliche Diskussion erschweren.

Risikogovernance und Partizipation – Optionen für weiteres Vorgehen

Die relevanten Faktoren für eine effektive Risikogovernance sind aus der systemischen Risikoforschung bekannt: Erfolgversprechend ist ein offener, transparenter und inklusiver Ansatz, der die Bedeutung der Partizipation aller relevanten Stakeholder sowohl bei der Risikobewertung als auch beim Risikomanagement anerkennt und entsprechend Partizipationsmöglichkeiten einräumt. Dieses Grundprinzip genießt inzwischen eine breite Akzeptanz. So ist es beispielsweise ein zentrales Element der Empfehlungen der OECD für die Governance kritischer Risiken. Eine offene und breite Partizipation von Stakeholdern ermöglicht die Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses der Problemlage und eine effizientere Lösungsfindung, die von einer Vielfalt an Information und Sichtweisen insbesondere bezüglich des Umgangs mit Unsicherheiten und Nebenwirkungen der möglichen Maßnahmen bzw. Grenzwerte profitiert.

Grundsätzlich ist die Governance von Risiken eine politische Aufgabe, die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen fußt und darüber hinaus geht. Dabei sollen der Handlungsbedarf festgestellt sowie einzelne Maßnahmeoptionen identifiziert, bewertet und verglichen werden. Für die Ableitung der Notwendigkeit von Vorsorgemaßnahmen sind neben einer Bewertung der verfügbaren wissenschaft-

lichen Evidenz und damit verbundenen (Un-)Sicherheiten auch weitere Wissensselemente einzubeziehen. Dazu zählt z. B. die Bewertung des Abstands zu einer möglichen Wirkschwelle und das Ausmaß der möglichen Schäden. Politische, soziale, mediale und kulturelle Aspekte sind bei der Risikobewertung ebenfalls im Blick zu behalten. Dafür können demokratiepolitische Qualitätskriterien angelegt werden.

Wichtig ist, der interessierten bzw. organisierten Öffentlichkeit eine Möglichkeit der Mitsprache *vor* der politischen Entscheidungsfindung einzuräumen. Öffentliche Debatten über Risiken sind für das Vertrauen in und die Akzeptanz von Entscheidungen essenziell. Hier gilt es, für eine gute Strukturierung der Debatte zu sorgen und einen starken Fokus auf die Inhalte zu legen, dabei auch auf die quantitative Abschätzung der Risiken zu berücksichtigen. Klar ausgewählte strittige Aspekte und die möglichen Folgen einer Regulierung bzw. von verschiedenen Maßnahmenoptionen sollen diskutiert werden. Eine Diskussion von Prozeduren der Risikoabschätzung sollte möglichst vermieden werden bzw. in den Hintergrund rücken. Die Ergebnisse der Risikoabschätzung sollen für die Öffentlichkeit aufbereitet und kommunikativ begleitet werden, insbesondere wenn Widersprüche vorliegen. Darüber hinaus kann es sinnvoll sein, die Partizipation der Öffentlichkeit an der Gestaltung von Forschungsprogrammen und -design zu ermöglichen oder zu stärken, um die Akzeptanz der resultierenden Erkenntnisse zu stärken.

Zu bedenken ist ebenfalls, dass Öffentlichkeitsbeteiligungen mehr als nur einen positiven Vertrauensaufbau bewirken, sondern auch eine Diskussion von Laieneinschätzungen wie etwa subjektiven intuitiven Befunden mit einem gewissen Wert für die Risikoeinschätzung ermöglichen können (z. B. die Zunahme von multiplen Expositionssituationen). Dies wiederum könnte als Korrektiv hinsichtlich der Transparenz oder der Balance (tatsächlicher oder vermeintlicher) Partikularinteressen dienen sowie zugleich die Fähigkeit zum angemessenen Umgang mit potenziellen Risiken und die Expertise zu dem Thema (unter den Betroffenen) erhöhen.

Bei der Entscheidung über Vorsorgemaßnahmen sollten die allgemeinen und anerkannten Grundsätze des Risikomanagements zur Anwendung kommen. Dazu gehören das Prinzip der Verhältnismäßigkeit sowie die Abwägung der Vor- und Nachteile eines Tätigwerdens bzw. Nichttätigwerdens. Kosten und Nutzen sollen gegenübergestellt werden und nichtwirtschaftliche Dimensionen wie die Akzeptanz der Öffentlichkeit für die vorgesehenen Maßnahmen sollen in die Beratung bzw. Entscheidungsfindung Eingang finden. Nur auf einer breiten Wissensgrundlage kann evaluiert werden, ob ein Handlungsbedarf besteht und ggf. Vorsorgemaßnahmen bestimmt werden müssten, die dem angestrebten Schutzniveau entsprechen. Neben einer Anpassung der Grenzwerte können auch Beschränkungen der Verwendung (z. B. die Einrichtung von Schutzzonen, in denen die Verwendung von Mobiltelefonen oder die Errichtung von Sendeanlagen

verboten oder stark eingeschränkt wird), technische Standards oder die verstärkte Information der Bevölkerung in Betracht gezogen werden. Auch über die vom BfS empfohlenen und allgemein üblichen Anwendungsempfehlungen deutlich hinausgehende kommen infrage.

Mängel in der Risikogovernance (z. B. fehlende Öffentlichkeitsbeteiligung, Ignorieren bestehender Interessenkonflikte, Versäumnisse in der Risikokommunikation oder mediale Fehlinformation) können zu wechselseitigem Vertrauensverlust und Diskussionsabbruch führen und in der Folge sowohl wissenschaftliche als auch demokratiepolitische Defizite bewirken. Letztlich besteht eine ganz wesentliche Aufgabe darin, Hürden für eine offene wechselseitige Kommunikation von Akteursgruppen insbesondere zwischen Wissenschaft, Zivilgesellschaft und Politik abzubauen um somit Glaubwürdigkeit, Relevanz und Legitimität des Informationsflusses und damit auch der legitimierten (politischen) Entscheidungen zu ermöglichen. Auf diese Weise kann der gesellschaftliche Kontext sowohl der Risiken als auch der zu treffenden Entscheidungen (insbesondere zur Regulierung und Vorsorge) am besten einbezogen werden.

Vor diesem Hintergrund wäre es aus Sicht des TAB erwägenswert, den (bisherigen) Prozess der Risikobewertung und des Risikomanagements einer Evaluation dahingehend zu unterziehen, ob relevante Stakeholder rechtzeitig und umfassend genug einbezogen wurden und ob die Kommunikation der einzelnen Schritte angemessen, gleichberechtigt, offen und transparent ist.

Zu konstatieren ist abschließend, dass sich die Ergebnisse der vorliegenden Sachstandserhebung auf den wissenschaftlich erhobenen Kenntnisstand über Auswirkungen von EMF auf die menschliche Gesundheit aus den letzten Jahren beziehen. Aufgrund der sehr dynamischen technischen und wirtschaftlichen Entwicklung, insbesondere in der weiteren Digitalisierung, steigt die Exposition gegenüber EMF unterschiedlicher Art weiter stark an. Von daher können neue Sachlagen hinsichtlich der Belastung von Mensch und Umwelt durch EMF auftreten, die ggf. neue Bewertungen erfordern. Daher sollte die weitere Entwicklung vorausschauend durch Begleitforschung und Technikfolgenabschätzung analysiert und ausgewertet werden, um frühzeitig und proaktiv Strategien zum verantwortlichen Umgang mit den EMF der Zukunft entwickeln zu können, z. B. durch Entwicklung emissionsärmerer Technologien, um die Strahlenbelastung durch EMF des Mobilfunks und anderer Quellen zu minimieren.

1 Einleitung

Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) sind Grundlage digitaler, kabelloser Kommunikation etwa zwischen WLAN-Routern und Rechnern, Tablets und nicht zuletzt Mobiltelefonen im gesamten öffentlichen Raum und in praktisch allen privaten Haushalten. Zu erwarten steht in den kommenden Jahren eine weitere Zunahme von EMF-Quellen verschiedenster Frequenzbereiche. Als Hauptgrund hierfür gilt die rasante, umfängliche Digitalisierung nahezu aller Arbeits-, Lebens- und Wirtschaftsbereiche, die gleichzeitig stark mit mobil einzusetzenden Technologien verbunden ist. Aber auch der Stromnetzausbau, die Forcierung von Elektromobilität und autonomem Fahren tragen zu einem verstärkten Auftreten von EMF bei. Es ist daher zu erwarten, dass die Exposition der Bevölkerung mit EMF zukünftig ansteigen wird. Diese voraussichtliche Entwicklung bringt die Fragen mit sich, ob bzw. welche Wechselwirkungen zwischen den diversen EMF zu erwarten sind und ob bzw. welche Auswirkungen dies ggf. auf die menschliche Gesundheit haben könnte.

Die Auswirkungen von EMF auf Organismen sind seit Jahrzehnten Gegenstand intensiver Forschung. Tausende Einzeluntersuchungen zu Fragen des mit der Mobilfunkstrahlung möglicherweise einhergehenden Gesundheitsrisikos wurden in vielen Ländern und unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen durchgeführt, ebenso hunderte von groß angelegten Metastudien. Die resultierenden Ergebnisse und Befunde sind in vielen Fällen nicht eindeutig bzw. übereinstimmend, woraus teils konträre Interpretationen und kontroverse Debatten resultieren. Dies ist auch dadurch begründet, dass die wissenschaftliche Beantwortung der zugrundeliegenden Fragestellung methodisch keineswegs trivial ist; auch kann eine endgültige Beweisführung für die Abwesenheit jeden Risikos per se nicht erfolgen. Es handelt sich hierbei (im Sinne von »wicked problems«) um eine »komplexe« (Funtowicz/Ravetz 1993) oder auch »perplexe« wissenschaftliche Ausgangssituation (Meskens 2019). Hinzu kommen Interessen- und Wertekonflikte, eine resultierende Politisierung des Themas sowie Emotionalisierung, Vertrauensverluste, Kommunikationsschwierigkeiten und Lagerbildungen, die bis in die Forschungscommunity selbst zurückwirken (Bösch et al. 2010; Kastenhofer 2015). Zu konstatieren ist, dass die Kontroversen um mögliche Auswirkungen der Mobilfunkstrahlung auf die Gesundheit des Menschen auch nach jahrzehntelanger intensiver Forschungsarbeit, zahllosen wissenschaftlichen Diskussionen und vielen gesellschaftlichen Diskursen als »ungelöst« gelten (ITA 2020, S. 12).

Zugleich bilden die derzeit bekannten wissenschaftlichen Befunde zu biologischen Wirkungsschwellen bei technisch erzeugten elektromagnetischen Feldern, unterhalb derer keine Wirkungen eindeutig nachweisbar sind, die Grundlage für Grenzwertempfehlungen nationaler und internationaler Institutionen –

z.B. internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP), Weltgesundheitsorganisation (WHO) oder die Strahlenschutzkommission (SSK) und das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in Deutschland. Mit Blick auf die neuen technologischen Entwicklungen und Anwendungen in den verschiedenen EMF-Bereichen sowie zur diesbezüglich noch notwendigen Verbesserung der wissenschaftlichen Datenlage wurden und werden in Deutschland seitens der zuständigen Bundesministerien und Behörden Forschungsprogramme und -projekte durchgeführt, die zum Teil einen umfassenden Ansatz verfolgen und zu einer Verbesserung der Risikoabschätzung und -bewertung für EMF beitragen sollen.

Zielsetzung

Der vorliegende Bericht stellt den aktuellen Sachstand zu möglichen gesundheitlichen Risiken der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks zusammenfassend dar. Hierfür wurde in großem Umfang wissenschaftliche Literatur gesichtet und ausgewertet. Ein großes Augenmerk wurde dabei auf eine klare und transparente Unterscheidung zwischen evidenzbasierten wissenschaftlichen Befunden und möglichen Interpretationen seitens politischer Akteure, gesellschaftlicher Gruppen bzw. spezifischer Stakeholder gelegt: Es erfolgt ausschließlich eine evidenzorientierte Darstellung der Forschungsbefunde, d.h., es wird der wissenschaftliche Gehalt referiert und keine (politische oder sonstige) Interpretation vorgenommen. In diesem Sinne leistet dieser Bericht eine Risikoabschätzung, aber keine Risikobewertung¹. Es wurde eine Identifizierung des Gefährdungspotenzials vorgenommen, wissenschaftliche Erkenntnisse zur Dosis-Wirkungs-Beziehung zusammengetragen und eine Expositionsabschätzung durchgeführt. Ergänzend wurden Unsicherheiten charakterisiert, die mit der Erkenntnislage nicht weiter reduziert werden konnten. Intention des Berichts ist es, sowohl für die Politik als auch für die interessierte Öffentlichkeit die Qualität und somit resultierende Aussagekraft des derzeitigen wissenschaftlichen Sachstandes nachvollziehbar darzulegen.

Zu konstatieren ist zugleich auch, dass die Frage nach möglichen gesundheitlichen Wirkungen gegenwärtiger und zukünftiger Generationen der Mobiltelefonie auf eine nicht triviale Evidenzsituation trifft: »es gibt Grenzen der Modellierbarkeit, Untersuchbarkeit, Reproduzierbarkeit, Validierbarkeit, Erklärbarkeit und (widerspruchsfreien) Interpretierbarkeit. Dies hat unterschiedliche (kontextuelle) Gründe, die sich teils auch wechselseitig verstärken« (ITA 2020, S. 21).

1 Zur Unterscheidung Risikokommission (2003, S. 25).

Evidenz und Systematik

Im Rahmen des TA-Projekts wurden die Ergebnisse aus aktuellen nationalen und internationalen Forschungsprojekten gesichtet und insbesondere darauf hin analysiert, ob relevante bzw. neue Erkenntnisse vorliegen, die substanziell die Diskussionen zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen bzw. Risiken der HF-EMF verändern könnten. Fokussiert wurde zudem auf Forschungsbemühungen, die zur besseren Risikobewertung der Exposition von jungen Menschen einen substanziellen Beitrag leisten (könnten). Da die heutigen Kinder und Jugendlichen vermutlich lebenslang und in zunehmendem Maße EMF ausgesetzt sein werden, ist die Frage nach möglichen Langzeitwirkungen von großer Bedeutung.

Bei der Abschätzung möglicher gesundheitlicher Risiken von EMF gilt jedoch für alle Generationen gleichermaßen, dass diese erschwerenden Einschränkungen unterliegen. Experimentell kann zu potenziell gesundheitsschädigenden Expositionen aus ethischen Gründen nur an Tieren, isoliertem menschlichen Gewebe oder Zelllinien geforscht werden; die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Menschen ist immer schwierig bzw. problematisch. Die realistisch zu untersuchende Expositionsdauer ist bei experimentellen Studien auf wenige Stunden (isoliertes Gewebe) oder Wochen (Tierversuche) beschränkt. Epidemiologische Untersuchungen hingegen werfen oft das Problem ungenügender Datenqualität (z. B. zu Nutzungsdauer, Telefonieverhalten) oder Datenverfügbarkeit (Expositionsdaten, Nutzung durch Kinder, Langzeitnutzung, Nutzung neuer »5G«-Frequenzen) auf. Außerdem können epidemiologische Studien lediglich Korrelationen und nicht kausale Zusammenhänge aufzeigen. Und schließlich bedeutet der überzeugende Nachweis biologischer Effekte nicht zwingend, dass damit auch gesundheitliche Risiken einhergehen. Für all diese Situationen bzw. Ungewissheiten muss jedoch ebenso die epidemiologische Regel gelten, dass die Abwesenheit eines wissenschaftlichen Risikonachweises noch nicht die Abwesenheit eines Risikos bedeutet. Geht es um Evidenz und Risiko kommt erschwerend hinzu, dass die Abwesenheit jeden Risikos in komplexen Systemen (und dazu zählen biologische Systeme wie der menschliche Organismus) prinzipiell nicht letztgültig bewiesen werden kann (ITA 2020, S. 24 f.).

Schließlich wurde für den Bericht untersucht, welche EMF in welcher Form und in welcher Stärke durch welche Geräte und Anlagen generiert werden, um auf dieser Grundlage die daraus resultierenden Belastungen für Menschen abschätzen zu können. Dabei wurden mögliche kumulative Effekte durch gleichzeitig wirksame EMF-Quellen unterschiedlicher Frequenzen berücksichtigt. Dies diente auch dazu, mögliche Erkenntnislücken und Forschungsbedarfe in diesem Themenfeld zu identifizieren.

Für den vorliegenden Bericht war es aufgrund der Fülle des Materials nicht möglich, sämtliche vorliegenden wissenschaftlichen Primärveröffentlichungen, Metaanalysen und sonstige Quellen mit einheitlicher und strenger Systematik

auszuwerten. Vielmehr war es das Ziel, hinsichtlich der wichtigsten Forschungsprogramme und relevantesten Publikationen zu gesundheitlichen Effekten hochfrequenter EMF einen ausführlichen, substanziellen Überblick über die ca. letzten 10 Jahre zu vermitteln. Insgesamt handelt es sich bei diesem TAB-Bericht somit um eine Art »resource book«, also eine Faktensammlung, die Forschungsergebnisse und -befunde und Risikoeinschätzungen in ihrer Essenz aufbereitet und im Zusammenhang darstellt.

Gutachtenvergabe

Im Rahmen des TAB-Projekts wurden drei Gutachten vergeben, deren Ergebnisse in die Berichtserstellung eingeflossen sind:

- > Aktuelle Forschungen zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen bzw. Risiken der HF-EMF. Dr. Gregor Dürrenberger, Dr. Jürg Fröhlich; FSM – Forschungstiftung Strom und Mobilkommunikation, ETH, Zürich
- > Aktuelle Forschungen und Ergebnisse zu EMF-Risiken für Kinder und ältere Menschen. Dr. Sarah Drießen, Dr. Dagmar Dechent, Lambert Bodewein, Tobias Krause, David Gräfrath; Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu), Uniklinik RWTH Aachen, Aachen
- > Systematische Beschreibung der EMF-Emissionen elektrischer Geräte und Anlagen. Dr. Christian Küppers, Jens Gröger, Stefanie Wendt; Öko-Institut e.V., Berlin/Darmstadt

Die Verantwortung für die Auswahl, Strukturierung und Verdichtung des Materials sowie dessen Zusammenführung mit Informationen aus eigenen Recherchen und Analysen liegt bei den Verfassern und der Verfasserin des Berichts, Dr. Reinhard Grünwald, Dr. Christoph Revermann und Dr. Pauline Rioussset. Den Gutachter/innen sei für ihre engagierte Kooperation im Projekt und ihre Diskussionsbereitschaft sehr herzlich gedankt. Ein herzlicher Dank geht schließlich auch an Melanie Harbecke für die professionelle Übersetzung der fremdsprachigen Zitate ins Deutsche sowie an Carmen Dienhardt und Brigitta-Ulrike Goelsdorf für die Aufbereitung der Abbildungen und die Erstellung des Endlayouts.

Struktur des Berichts

Kapitel 2 – EMF-Quellen und Expositionsszenarien

In diesem Kapitel werden zunächst die verschiedenen EMF-Quellen systematisch beschrieben. Sodann erfolgt eine Übersicht über den Stand des Wissens bei der Exposition mit hochfrequenten Feldern aus verschiedenen Quellen anhand der Untersuchungen aus dem Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) und darüber hinaus (bis 2019). Darauf aufbauend werden Expositionsszenarien



abgeleitet und für diese jeweils unter ungünstigen bzw. Worst-Case-Annahmen die daraus resultierenden HF-Expositionen abgeschätzt. Bei den Ausführungen handelt es sich um eine überarbeitete sowie ergänzte und aktualisierte Fassung des Gutachtens des Öko-Instituts (2017), das im Rahmen dieses TAB-Projekts erstellt worden ist.

Kapitel 3 – Grenzwerte und Risikogovernance für elektromagnetische Felder

Zum Schutz der Bevölkerung vor möglichen gesundheitlichen Risiken durch die Exposition mit hochfrequenten EMF sind in Deutschland und den meisten Ländern weltweit Grenzwerte in Kraft, deren Grundlage die wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken sind. Die in Deutschland gültigen Grenzwerte gehen auf Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) zurück. Daher werden in diesem Kapitel zunächst die wesentlichen Inhalte der ICNIRP-Empfehlungen dargelegt. Daran anschließend werden die in Deutschland geltenden Grenzwerte für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder, die durch die 26. BImSchV² festgelegt sind, dargestellt. Abgerundet wird das Kapitel durch eine Analyse und Diskussion der Risikobewertung und des Risikomanagements im Rahmen des staatlichen Risikogovernanceprozesses, der zumeist ausschließlich expertenzentriert ist.

Kapitel 4 – Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF

In diesem für den vorliegenden Bericht zentralen Kapitel wird eine Einordnung relevanter Forschungsarbeiten zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen und Risiken von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) vorgenommen. Dazu wurde auf die von der Schweizer Forschungstiftung Mobilfunk in sehr umfangreicher Weise erhobenen Ergebnisse aus aktuellen nationalen und internationalen Forschungsprojekten zurückgegriffen (FSM 2017). Entsprechend wurde in diesem Kapitel analysiert, ob relevante neue Erkenntnisse vorliegen, die substanziell die Diskussionen zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen bzw. Risiken der HF-EMF verändern könnten. Als Ausgangspunkt für die Analysen wurden die Befunde des 2008 zu Ende gegangenen Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms (DMF) gewählt. Der Fokus lag darauf herauszuarbeiten, welchen wissenschaftlichen Erkenntniszuwachs neuere Forschungsergebnisse (ab 2010) über die Ergebnisse des DMF hinaus erbracht haben. Im Speziellen wird in Kapitel 4.1 die verwendete Methodik vorgestellt. In Kapitel 4.2 wird die

² Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV)

grafische Darstellung der Ergebnisse erklärt, welche die Basis für die sich anschließende Diskussion darstellt. Kapitel 4.3 stellt den Erkenntnisstand aus dem DMF als Ausgangspunkt für die weitere Analyse dar. Kapitel 4.4 (Nachfolgeaktivitäten des DMF) und 4.5 (Evidenz aus internationalen Forschungsprojekten) bündeln die Ergebnisse der aktuellen nationalen und internationalen Forschungsprogramme, um den Erkenntniszuwachs gegenüber dem DMF herauszuarbeiten. Zum besseren Verständnis und zur besseren Lesbarkeit dieses Kapitels sowie aus Gründen der ausführlichen und transparenten Darstellung der dargebotenen Erkenntnisse sind Detailergebnisse aus den diversen internationalen Forschungsprogrammen und Projekten in einem umfangreichen Anhang (Kap. 8.1) zusammen mit einer Auflistung der relevanten Projekte und Literaturstellen aufgeführt.

Kapitel 5 – Mögliche gesundheitliche Risiken durch HF-EMF bei Kindern und älteren Menschen

In spezifizierender Ergänzung zu den Analysen in Kapitel 4 richtet sich der Fokus dieses Kapitels speziell auf die Analyse und bewertende Einordnung des aktuellen Kenntnisstands zu den biologischen und gesundheitlichen Wirkungen durch HF-EMF-Exposition bei Mobiltelefonie und anderen funkgestützten Anwendungen (Schnurlostelefonie, WLAN, Bluetooth etc.) auf Kinder und Jugendliche. Als Erweiterung zur Bewertung sensibler Personengruppen wurden außerdem die Wirkungen von mobilen Kommunikationsgeräten auf ältere Menschen recherchiert und dargestellt. Das Kapitel stützt sich ganz wesentlich auf das Gutachten von femu (2019). Auch bezüglich der Analysen und Ergebnisse in diesem Kapitel sind Detailergebnisse aus den diversen internationalen Forschungsprogrammen und Projekten durch eine Auflistung der relevanten Projekte und Literaturstellen im Anhang in Kapitel 8.2 ergänzt worden.

Kapitel 6 – Resümee: Erkenntnisse, Herausforderungen und Forschungsbedarf bei HF-EMF

Das abschließende Kapitel 6 identifiziert und analysiert – ausgehend vom gegenwärtigen Wissensstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen bzw. Risiken von HF-EMF, wie sie in den grundlegenden Kapiteln 4 und 5 dargelegt wurden – Wissenslücken bzw. relevante Forschungsbedarfe. Es wurden aber auch übergreifende Aspekte in die Überlegungen einbezogen, wie etwa die potenzielle gesundheitspolitische Relevanz eines Themas oder die öffentliche Wahrnehmung bzw. gesellschaftlichen Kontroversen.

Kurz beleuchtet werden auch die Aspekte der neuen innovativen Technologien im Kontext von 5G und die möglichen Auswirkungen bzgl. der menschlichen Gesundheit. Das Kapitel endet ausblickend mit einer kurzen Analyse und Diskussion der aus der systemischen Risikoforschung bekannten Erfolgsfaktoren für eine effektive Risikogovernance.

2 EMF-Quellen und Expositionsszenarien

Mit der rasanten Digitalisierung nahezu aller Bereiche des gesellschaftlichen Lebens, die gleichzeitig mit einer starken Nutzung mobil einzusetzender Technologien verbunden ist, haben Zahl und Intensität elektromagnetischer Felder in den vergangenen Jahren erheblich zugenommen. Der Ausbau der digitalen Infrastruktur, aber auch der Stromnetze und der Elektromobilität schreitet stetig voran. HF-EMF sind Grundlage digitaler, kabelloser Kommunikation z.B. zwischen WLAN-Routern und Rechnern, Tablets, Mobiltelefonen etc. im gesamten öffentlichen Raum und in praktisch allen privaten Haushalten. Dabei generieren viele verschiedene WLAN-Netze, Funksendemasten sowie Stromnetze mehrerer Spannungsebenen gleichzeitig diverse EMF im HF- und NF-Bereich.

Im Folgenden werden zunächst die verschiedenen EMF-Quellen systematisch beschrieben. Sodann erfolgt eine Übersicht über den Stand des Wissens bei der Exposition mit hochfrequenten Feldern aus verschiedenen Quellen anhand der Untersuchungen aus dem DMF und darüber hinaus. Darauf aufbauend werden Expositionsszenarien abgeleitet und für diese jeweils unter ungünstigen bzw. Worst-Case-Annahmen die daraus resultierenden HF-Expositionen abgeschätzt. Bei den folgenden Ausführungen handelt es sich um eine überarbeitete sowie punktuell ergänzte und aktualisierte Fassung des Gutachtens des Öko-Instituts (2017), das im Rahmen dieses TAB-Projekts erstellt worden ist.

2.1 Übersicht potenzieller EMF-Quellen

Eine Vielzahl an Geräten der Informations- und Kommunikationstechnik, aber auch Haushaltsgeräte wie Mikrowellen- und Induktionsherde emittieren in ihrem Betrieb EMF. Die im Alltag wichtigsten EMF-Quellen werden im Folgenden ausführlich beschrieben. Dabei werden jeweils die Funkstandards, Anwendungen, Verbreitung und Trends sowie technische Daten aufgeführt.

2.1.1 Mobiltelefonie

Name des Funkstandards

Mobilfunk 2G (Global System for Mobile Communications – GSM), Mobilfunk 3G (Universal Mobile Telecommunications System – UMTS) und Mobilfunk 4G (Long Term Evolution – LTE) (IEEE 802.15.4)

Produkte und Anwendungsfälle

Mobiltelefone sind Telefongeräte, die zur drahtlosen Telefonie genutzt werden. Sie übertragen Sprachsignale über eine bidirektionale Funkverbindung zu einer Mobilfunkbasisstation, wo das Signal umgewandelt und in das allgemeine Telefonnetz (Festnetz) einspeist wird. Mit Mobiltelefonen sind Telefonverbindungen sowohl zwischen Mobiltelefonen und Festnetztelefonen als auch zwischen verschiedenen Mobiltelefonen möglich. Mobiltelefone sind mit einer wechselbaren SIM-Karte zur individuellen Teilnehmererkennung ausgestattet. Klassische Mobiltelefone sind mit einer numerischen Tastatur ausgestattet und haben einen geringeren Funktionsumfang als die moderneren Smartphones, die über ein berührungsempfindliches Display verfügen. Mobiltelefone können neben der Telefonfunktion weitere Funktionen unterstützen, wie z. B. das Übertragen von Textnachrichten (SMS), Nutzung des mobilen Internets, Ausführung von Programmen (Apps) sowie Foto-, Video- und Tonaufnahmen (RAL 2017).

Abb. 2.1 Beispielbild eines Mobiltelefons



Quelle: cmart29/pixabay (CC0; <https://pixabay.com/de/telefon-iphone-schwarz-handy-mobil-1830479/>; 28.9.2020)

Es gibt derzeit drei digitale Mobilfunkstandards (GSM, UMTS und LTE), mit denen unterschiedliche Frequenzbänder und Methoden der Datenübertragung genutzt werden. LTE ist der neueste Standard und nutzt alle Mobilfunkfrequenzbänder von 700 bis 2.700 MHz. Der Sendebereich einer Basisstation wird als Funkzelle bezeichnet. Zur Erhöhung ihrer Akkulaufzeit reduzieren Mobiltelefone automatisch ihre Sendeleistung, sobald die Qualität der Verbindung steigt. Das heißt, in der Nähe einer Basisstation und bei ungestörter Funkverbindung kommt das Endgerät mit einer deutlich niedrigeren Sendeleistung aus, als am Rand der jeweiligen Funkzelle bzw. bei gestörter Funkverbindung (BAG 2016c; BNetzA 2010c).



Neben den Mobilfunkstandards haben Smartphones in der Regel noch die Funkstandards WLAN und Bluetooth integriert. Die Sendeleistung dieser Funkstandards trägt damit zur gesamten elektromagnetischen Strahlung dieser Geräte bei (BAG 2016d).

Für alle Mobiltelefone ist eine maximale spezifische Absorptionsrate (SAR) von 2 W/kg vorgeschrieben. Die SAR beschreibt die vom Körper absorbierte Energiemenge durch elektromagnetische Felder und ist abhängig von der Sendeleistung des Gerätes, vom Messabstand zur Körperoberfläche, aber auch von der Ausrichtung und dem Design der integrierten Antenne (BAG 2016e; BfS 2017a).

Verbreitung und Trends

2018 gab es in Deutschland 74,4 Mio. Mobiltelefone, davon 58,5 Mio. Smartphones (entspricht einem Anteil von knapp 80%) (Destatis 2019). Der Smartphone Markt wächst weiter. So stieg die Zahl der Nutzer seit 2016 um ca. 3 Mio. pro Jahr auf 57 Mio. bis Ende 2018 (Statista 2019, S.23).

Technische Daten

Tab. 2.1 Technische Daten: Mobiltelefon

Frequenzbereiche	700, 800, 1.800, 2.100 und 2.600 MHz
maximal zulässige Sendeleistung (NTP)	0,25 W (0,2 W bei LTE)
Die nominale Sendeleistung (NTP) kann vereinfachend mit der EIRP gleichgesetzt werden.	
typische Strahlungsleistung	0,001–0,01 W
weitere technische Anforderung	$SAR \leq 2 \text{ W/kg}$

Quelle: BfS 2017a, BNetzA 2010c

2.1.2 DECT

Name des Funkstandards

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)

Produkte und Anwendungsfälle

DECT ist ein eingetragenes Warenzeichen des Europäischen Instituts für Telekommunikationsnormen (ETSI). Es bezeichnet einen Funkstandard für die bidirektionale Übertragung von digitalen Signalen über kurze Entfernungen. Der Standard wird insbesondere für die digitale Schnurlostelefonie (DECT-Tele-

fonie) zur Übertragung von Audiodaten innerhalb von Gebäuden eingesetzt, ist aber prinzipiell auch für die Übertragung anderer digitaler Informationen geeignet (ETSI 2019). Mit seiner maximalen Sendeleistung von 250 mW hat das Funk-signal im Freien eine Reichweite von etwa 300 m. Die mittlere Sendeleistung im Normalbetrieb beträgt 10 mW (BNetzA 2015b).

Abb. 2.2 Beispielbild eines DECT-Produktes (Schnurlostelefon)



Quelle: Justus Blümer/flickr (CC BY 2.; www.flickr.com/justusbluemer/6045497868/; 28.9.2020)

Ein DECT-System besteht aus einer DECT-Basisstation und einem oder mehreren DECT-Endgeräten (z. B. Schnurlostelefonen). Die Endgeräte tauschen ihre Daten jeweils mit der Basisstation aus (Sterntopologie). Die DECT-Basisstation kann ein eigenständiges Gerät sein oder sie ist in einer Telefonanlage oder beispielsweise einem DSL-Router integriert (BNetzA 2015b).

Typische DECT-Produkte sind Schnurlostelefone, Türsprechanlagen, Babyphone, Konferenztelefone, schnurlose Headsets und Überwachungskameras. Weitere DECT-Produkte sind solche zur Heimautomation wie funkgesteuerte Steckdosenleisten, Thermostatventile und Bewegungssensoren. Diese arbeiten mit dem DECT-kompatiblen DECT-ULE-(Ultra Low Energy-)Standard, der mithilfe kurzzeitiger Sendeimpulse den Energieverbrauch stark reduziert (ETSI 2013).

Verbreitung und Trends

Weltweit arbeitet ein Anteil von 73 % aller Schnurlostelefone mit dem DECT-Standard (ETSI 2019). Durch die ständige Weiterentwicklung des Standards (z. B. Voice-over-IP-Telefonie, CAT-iq) wird er auch zukünftig eine hohe Markt-relevanz haben.

Technische Daten

Tab. 2.2 Technische Daten: DECT

Frequenzbereiche	1.880–1.900 MHz
maximal zulässige Sendeleistung (NTP)	0,25 W
Die nominale Sendeleistung (NTP) kann vereinfachend mit der EIRP gleichgesetzt werden.	
mittlere Sendeleistung bei Datenübertragung	0,010 W
mittlere Sendeleistung im Bereitschaftsmodus	0,0025 W
zeitliches Strahlungsprofil	solange Telefongespräche geführt werden: kontinuierliches abwechselndes Senden und Empfangen in Datenpaketen einer Dauer von 10 ms auf der gleichen Frequenz (TDD, time division duplex). Im Bereitschaftsmodus reduziert sich die mittlere Sendeleistung durch kürzere Sendepulse auf rund ein Viertel (2,5 mW).

Quellen: ETSI 2016 u. 2019, BNetzA 2015a u. 2015b

2.1.3 WLAN

Name des Funkstandards

- WLAN 2,4 GHz (IEEE 802.11, ursprünglicher Standard 1997 eingeführt)
- WLAN 5 GHz (IEEE 802.11a, ursprünglicher Standard 1999 eingeführt)

Am verbreitetsten sind heute Geräte mit den Standards 802.11n (nutzt beide Frequenzbänder 2,4 und 5 GHz), bzw. 802.11ac (5 GHz). Ab Ende 2019 soll der neue Standard 802.11ax verabschiedet werden (im Frequenzbereich zwischen 1 und 7 GHz) (Goodwins 2018). Als neue kundenfreundlichere Nomenklatur hat das Firmenkonsortium »Wi-Fi Alliance« die neuen Bezeichnungen Wi-Fi 4, Wi-Fi 5 sowie Wi-Fi 6 eingeführt (für die Standards 802.11n, 802.11ac sowie 802.11ax) (Wi-Fi Alliance 2018).

Produkte und Anwendungsfälle

Wireless Local Area Network (WLAN) ist ein Funkstandard für die Datenübertragung in lokalen Netzwerken. In der Regel besteht solch ein Netzwerk aus einer koordinierenden Einheit, dem Wireless Access Point (WAP) und einem

oder mehreren Geräten, die sich sternförmig dem Wireless Access Point verbinden. Typische Gerätekombinationen sind dabei ein Router, der die Rolle des WAP übernimmt und mobile Endgeräte, wie Notebooks, Tablets oder Smartphones. Der Funkstandard WLAN ist weit verbreitet und wird von vielen verschiedenen Geräten unterstützt, wie beispielsweise von Druckern, Überwachungskameras, mobilen Sprachassistenten und Geräten zur Heimautomation (BAG 2016f).

Abb. 2.3 Beispiel eines WLAN-Routers



Quelle: andibreit/pixabay (CC0), <https://pixabay.com/de/wlan-wifi-netzwerk-modem-online-1494537/> (1.10.2020)

Die maximal zulässige Sendeleistung von WLAN beträgt für den Frequenzbereich um die 2,4 GHz 100 mW (EIRP). Für den Bereich um die 5 GHz sind bis zu 200 mW (EIRP) zulässig (BNetzA 2010a, 2013b). In der Praxis schöpfen Router und WLAN-fähige Geräte diese Maximalleistung nicht aus. Typische Sendeleistungen liegen beispielsweise bei Laptops zwischen 1 und 17 mW und bei Access Points bei 3 bis 29 mW (SSK 2013, S. 6).

Verbreitung und Trends

Gemäß einer Umfrage von OnePoll (2017) aus dem Jahr 2017 nutzten etwa 92 % der deutschen Haushalte einen eigenen WLAN-Zugang. Weitere 4 % gingen über ein gemeinsam genutztes WLAN online. Als Zugangsgerät ins WLAN nutzten laut Statistischem Bundesamt (Destatis 2017) in Deutschland im 1. Quartal 2017 rund 35 Mio. Nutzer/innen das Smartphone und 22 Mio. Nutzer/innen tragbare Computer wie Tablets, Netbooks oder Laptops. Mit Blick auf die steigende Ausstattung von Haushalten mit Informationstechnik (internetfähige Fernsehgeräte, Internet of Things, Sprachassistenten) muss von einer weiteren Zunahme der WLAN-Nutzung in den nächsten Jahren ausgegangen werden.



Technische Daten

Tab. 2.3 Technische Daten: WLAN

Frequenzbereiche	(a): 2.400,0–2.483,5, (b): 5.150–5.350 MHz, (c) 5.470–5.725 MHz
maximal zulässige Strahlungsleistung	(a): 0,1 W, (b): 0,2 W*). (c): 1 W*)
Info zur Strahlungsleistung	EIRP
typische Strahlungsleistung	0,001–0,03 W
Anmerkung	Ein WLAN-Netzwerk besteht aus einem zentralen Wireless Access Point und mindestens einem WLAN-Client.

* Bei Verwendung von Frequenzzugangs- und Störungsminderungstechniken (Transmit Power Control – TPC und Dynamic Frequency Selection – DFS)

Quellen: BAG 2016f; BNetzA 2018b u. 2018c; SSK 2013, S. 5 f.

2.1.4 Bluetooth

Name des Funkstandards

Bluetooth (IEEE 802.15.1)

Produkte und Anwendungsfälle

Der Name Bluetooth ist ein eingetragenes Warenzeichen der Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG). Der Funkstandard ist durch die internationale Norm IEEE 802.15.1 definiert. Bluetooth dient der Datenübertragung über kurze Distanzen und eignet sich daher dazu, elektronische Geräte kabellos miteinander zu verbinden. Bluetoothgeräte verbinden sich von Gerät zu Gerät zu sogenannten Ad-hoc-Netzwerken. Dadurch ist es möglich, Bluetoothgeräte, wie Headsets, mobile Lautsprecher, Eingabegeräte oder Gesundheits- und Fitnesssensoren, ohne größeren Konfigurationsaufwand beispielsweise an Computer, Smartphones oder Tablets anzukoppeln.

Bluetooth nutzt das gleiche Frequenzband wie WLAN, weist aber eine begrenzte Reichweite auf. Die Reichweite wird durch die Leistungsklasse des Bluetoothgerätes bestimmt. Geräte mit der Leistungsklasse 1 senden mit einer maximalen Leistung (EIRP) von 100 mW und reichen damit bis zu 100 m weit. Bluetoothsender der Leistungsklasse 2 senden mit 2,5 mW (EIRP) und erreichen maximal 40 m. Die kleinste Leistungsklasse ist die Klasse 3 mit nur 1 mW und einer Reichweite von maximal 10 Metern (BAG 2016b).

Abb. 2.4 Beispielbild einer Bluetoothtastatur, Maus und USB-Adapter



Quelle: Zaenani Trianto/flickr (CC BY 2.0; www.flickr.com/zzet/8908988934)

Verbreitung und Trends

Bluetoothschnittstellen sind derzeit in allen gängigen Notebooks, Tablets und Smartphones integriert und stellen die am weitesten verbreiteten Schnittstellen für Kurzstreckenverbindungen dar. Nach Angabe der Bluetooth SIG werden weltweit jährlich 3,4 Mrd. Bluetoothgeräte produziert, also etwa ein Bluetoothgerät pro zwei Weltenbürger und Jahr. Aktuelle Trends sind insbesondere Audioanwendungen, d.h. Kopfhörer und tragbare Lautsprecher. Außerdem wird bei vernetzten Haushaltsgeräten (Smarthome) ein weiterer Wachstumsmarkt gesehen (Bluetooth SIG 2017).

Technische Daten

Tab. 2.4 Technische Daten: Bluetooth

Frequenzbereiche	2.400,0–2.483,5
maximal zulässige Strahlungsleistung	Klasse 1: 0,1 W, Kl. 2: 0,025 W, Klasse 3: 0,001 W
Info zur Strahlungsleistung	EIRP
zeitliches Strahlungsprofil	Fast Frequency Hopping, 1600 Frequenzwechsel pro Sekunde
typische Strahlungsleistung	0,001 W

Quellen: BNetzA 2010b; BAG 2016b

2.1.5 Babyphone

Produkte und Anwendungsfälle

Ein Babyphon dient der akustischen Raumüberwachung für Babyschlafzimmer. Dem Babyphon zugeordnet ist eine Empfangseinheit, die auf Elternseite das Sendesignal empfängt. Sobald das Baby laute Geräusche macht, geht die Sendeeinheit des Babyphons in den kontinuierlichen Sendemodus über und überträgt das Audiosignal. Hierzu ist es mit einem geräuschgesteuerten Einschalter ausgestattet. Solange das Baby schläft bzw. sich ruhig verhält, sendet das Babyphon im Abstand von einigen Sekunden Testsignale, die dem Empfangsgerät anzeigen, dass sich das Gerät noch innerhalb des Empfangsbereichs befindet bzw. noch betriebsbereit ist (BAG 2016a; BNetzA 2013a).

Für Babyphone wird von der Bundesnetzagentur das Frequenzband 27 bis 27,2 MHz bereitgestellt. Die maximal zulässige Sendeleistung (ERP) beträgt in diesem Frequenzband 50 mW (BNetzA 2013a). Zur Umrechnung in eine Strahlungsleistung (EIRP) muss dies mit dem Faktor 1,64 multipliziert werden³. Damit ergibt sich eine maximale Strahlungsleistung von 82 mW. Prinzipiell können Babyphone aber auch andere Frequenzbereiche nutzen, die als lizenzfreie ISM-Bänder (Kap. 2.1.6) zur Verfügung gestellt werden (BAG 2016a). Im vorliegenden Bericht wird davon ausgegangen, dass für Babyphone die von der Bundesnetzagentur vorgesehenen Frequenzbereiche genutzt werden.

Abb. 2.5 Beispielbild für ein Babyphon



Quelle: Kai Schreiber/flickr (CC BY-SA 2.0); www.flickr.com/photos/genista/488532642/; 1.10.2020)

3 https://de.wikipedia.org/wiki/Effektive_Strahlungsleistung (28.9.2020)

Verbreitung und Trends

Die Verbreitung der Produktgruppe Babyphone in deutschen Haushalten konnte im Rahmen dieser Studie nicht ermittelt werden. Bei der Zielgruppe erfreuen sich Babyphone jedoch großer Beliebtheit.⁴ Der Markt verändert sich aktuell dahingehend, dass Babyphone einen immer größeren Funktionsumfang haben, von der Übertragung von Videosignalen aus dem Kinderzimmer über die Aufzeichnung von Vitalfunktionen bis hin zur bidirektionalen Gegensprechanlage. Damit kann auch eine kontinuierliche Datenübertragung (z. B. im Stil einer Webcam) verbunden sein, die nicht mehr geräuschgesteuert gestartet wird. Als Funkstandards kommen für die Videoübertragung auch WLAN, DECT und Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) Sendeverfahren im 2,45 GHz-Bereich zum Einsatz. Außerdem sind Apps verfügbar, mittels derer ein Smartphone die Funktion eines Babyphons übernimmt (Stiftung Warentest 2015).

Technische Daten

Tab. 2.5 Technische Daten: Babyphon

Frequenzbereiche	27,0–27,2 MHz
maximal zulässige Sendeleistung (ERP)	0,05 W
entspricht einer Strahlungsleistung (EIRP)	0,082 W
Anmerkung	Das Gerät sendet nur bei Tonsignal.

Quelle: BNetzA 2013a

2.1.6 Smarthomegeräte

Name des Funkstandards

ZigBee, XBee (IEEE 802.15.4), Z-Wave (ITU-T Standard G.9959), HomeMatic, EnOcean (ISO/IEC 14543-3-10), KNX-RF u. a., IEEE 802.11ah (»Wi-Fi HaLow«) im Frequenzband um 900 MHz⁵

Produkte und Anwendungsfälle

Smarthome ist eine übergeordnete Bezeichnung für verschiedene Ausprägungen der Heimvernetzung und Gebäudeautomation. Smarthomeanwendungen ermög-

4 So ergibt etwa eine Anfrage nach »babyfone« bei www.ideal.de über 4.000 Treffer. <https://www.ideal.de/preisvergleich/ProductCategory/4892.html?q=babyfone&qd=babyfone> (15.10.2020)

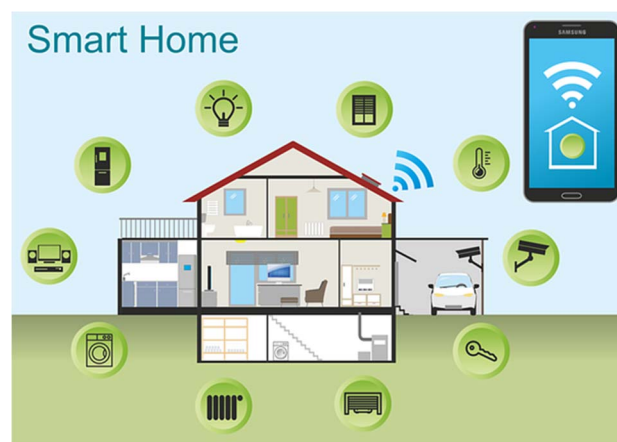
5 <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-halow> (28.9.2020)

2.1 Übersicht potenzieller EMF-Quellen



lichen die Fernsteuerung und Überwachung der Gebäudetechnik (z.B. Licht, Klimaanlage, Heizung, Jalousien, Kameras, Türöffner) und verschiedener Haushaltsgeräte (z.B. Fernsehgerät, Kaffeemaschine, Waschmaschine, Kühlschrank) sowie die Kombination mit weiteren Sensoren und Messeinrichtungen (z.B. Energiemessgeräten, Temperatur, Feuchtigkeit, Fenster- und Türkontakte). Smarthomegeräte können einen Beitrag zur Energieeffizienz, Komfortsteigerung und Sicherheit in Haushalten leisten (DG Energy 2017).

Abb. 2.6 Beispielbild eines Smarthomegebäudes mit vernetzten Geräten



Quelle: Pixaline/pixabay (CC0; <https://pixabay.com/de/smart-home-haus-technik-multimedia-2005993/>; 28.9.2020)

Für Smarthomegeräte gibt es eine Vielzahl an Funkstandards, die sich derzeit dynamisch entwickeln. Gemeinsam ist diesen Funkstandards, dass sie als Frequenzband die ISM-Frequenzen nutzen, die für Industrie, Wissenschaft und Medizin (Industrial, Scientific and Medical – ISM) eingerichtet wurden (BNetzA 2015c). Gemäß den Spezifikationen von IEEE 802.15.4 wird in Europa für ZigBee, XBee und vergleichbare Smarthomefunkstandards der Frequenzbereich 868 bis 868,6 MHz genutzt (Salman et al. 2010). Stellvertretend für alle Smarthomefunkstandards wurde dieses Frequenzband für die nachfolgenden Untersuchungen ausgewählt. Die Smarthomesender haben eine maximal zulässige Sendeleistung von 25 mW. Da sie in der Regel batteriebetrieben sind (zumeist mit Knopfzellen), gibt es für die Entwickler und Hersteller der Geräte eine starke Motivation, die Sendeleistung so gering wie möglich zu halten. Typische Sendeleistungen von Smarthomegeräten liegen bei 1 mW.

Verbreitung und Trends

Nach einer Umfrage des Connected Living e. V. im Jahr 2017 bei 970 Personen in Deutschland besaßen 60% ein oder mehrere Smarthomegeräte. Als solche

Geräte wurden bei der Marktstudie auch Fernseher, Musikanlagen, digitale Assistenten und Spielekonsolen verstanden, die mit dem Internet verbunden sind. Geräte, die mit der Energietechnik der Gebäude (Beleuchtung, Elektrik, Temperatur, Beschattung) verbunden sind, sind dagegen nur zu 25 % vertreten. Weitere Anwendungsfälle der Smarthomenutzer/innen stellen Sicherheitstechnik mit 21 %, Hausgeräte mit 19 % und Sonstige (Gartengeräte, Badprodukte etc.) mit 14 % dar. Bezogen auf alle Befragten ist jeder Haushalt im Durchschnitt mit 2,5 smarten Geräten ausgestattet. (Connected Living 2017). Die Branche rechnet in den nächsten Jahren mit steilen Umsatzzuwächsen im deutschen Smarthomemarkt. Das Marktvolumen für 2019 wird auf etwa 3,5 Mrd. Euro taxiert. Bis 2023 soll dies sich in etwa verdoppeln.⁶

Technische Daten

Tab. 2.6 Technische Daten: Smarthomegeräte

Frequenzbereiche	868,0–868,6 MHz*
maximal zulässige Sendeleistung (ERP)	0,025 W
entspricht einer Strahlungsleistung (EIRP)	0,041 W
typische Strahlungsleistung	0,001 W
Anmerkung	Smarthomegeräte werden in der Regel zu mehreren mit einer gemeinsamen Steuereinheit eingesetzt.

* Beispiel für ein mit dem IEEE 802.15.4 Standard nutzbares Frequenzband

Quelle: BNetzA 2018d

2.1.7 Mikrowellenherd

Produkte und Anwendungsfälle

Mikrowellenherde werden zum schnellen Erhitzen von Speisen, aber auch für andere Zwecke wie der industriellen Verschweißung von Polymeren oder der Anregung von Plasmen eingesetzt. Elektrisch schwach leitende Stoffe, z.B. Wasser in Lebensmitteln, nehmen die Strahlung auf, wandeln sie in Wärmeenergie um und erhitzen somit das Gargut (Fraunhofer ICT 2017; BAG 2016d).

In Mikrowellenherden erzeugt ein Hochfrequenzgenerator, das Magnetron, die Mikrowellenstrahlung. Als Frequenz hat sich in Europa 2,45 GHz durchgesetzt. Über einen Hohlleiter (Metallrohr) wird die Mikrowellenstrahlung gebündelt vom Magnetron in den Garraum des Ofens geleitet. Dort reflektieren die

⁶ Smart Home – Deutschland Statista, <https://de.statista.com/outlook/279/137/smart-home/deutschland> (28.9.2020)

2.1 Übersicht potenzieller EMF-Quellen



Metallwände des Gehäuses und ein Drahtgitter in der Tür die Strahlen. Um zu verhindern, dass es zu Überlagerungen (Interferenzeffekten) kommt, wird die Strahlung über einen rotierenden Reflektorflügel (Rührer) im Gerät verteilt. Alternativ wendet ein Drehteller das Gargut und sorgt für gleichmäßige Erwärmung (BAG 2016d).

Haushaltsübliche Mikrowellengeräte haben eine Leistung von 100 bis 1.300 Watt. Der weitaus überwiegende Teil dieser Energie wird innerhalb des Faraday'schen Käfigs des Mikrowellenherdes gehalten und dringt nicht nach außen. Die sogenannte Leckstrahlung des Mikrowellenherdes darf in einem Abstand von 5 cm max. 5 mW/cm² betragen, dies entspricht einem SAR-Wert von 2 W/kg. Als Leckstrahlung wird hochfrequente Strahlung bezeichnet, die durch mangelhafte Türdichtungen, Abnutzungen an Tür und Schloss oder anderen Defekten austritt (BAG 2016d; BfS 2012).

Abb. 2.7 Beispielbild eines Mikrowellenherdes



Quelle: Samsung (<https://www.samsung.com/de/microwaves/all-microwaves/>; 20.10.2020)

Verbreitung und Trends

Mikrowellenherde sind in Deutschland heute in etwa 74 % aller Haushalte zu finden (Destatis 2020). Das Küchengerät wird von den Herstellern immer wieder mit neuen Funktionen und Programmen bedacht. So übernimmt es mittlerweile Funktionen von Dampfgarern, Umluftherden oder Grills. In Zukunft werden Mikrowellenöfen noch mit mehr digitaler Funktionalität und interaktiver Vernetzung mit anderen Geräten ausgestattet sein (RP Online 2017).

Technische Daten

Tab. 2.7 Technische Daten: Mikrowellenherd

Frequenzbereich	2.450 MHz
Heizleistung	100–1.300 W
maximal zulässige Leckstrahlung (Abstand 5 cm)	5 mW/cm ² (entspricht SAR = 2 W/kg)
durchschnittliche Leckstrahlung (gebrauchtes Gerät, Abstand 5 cm)	0,41 mW/cm ²

Quellen: BAG 2016d; BfS 2012

2.1.8 Induktionsherd

Produkte und Anwendungsfälle

Induktionsherde dienen der Zubereitung von Speisen, mit gleicher Funktionalität wie klassische Herde bzw. Kochfelder. Statt die Wärme der Heizplatte mit einem ohmschen Widerstand zu erzeugen, erzeugen Induktionskochfelder ein mittelfrequentes Magnetfeld (20–100 kHz). Dieses Magnetfeld durchdringt das Glaskeramikkochfeld ungehindert und trifft auf den elektrisch leitenden Topf- oder Pfannenboden. Im Kochgeschirr treten Wirbelströme auf, die bei geeigneten Materialien zu einer Erhitzung des Topfbodens führen. Da keine Heizplatte erwärmt werden muss, können Induktionskochfelder die Kochtöpfe ähnlich schnell wie ein Gasherd erhitzen, was den Energieverbrauch senkt und den Kochkomfort steigert (BAG 2016c; Stiftung Warentest 2009).

Abb. 2.8 Beispielbild eines einzelstehenden Induktionskochfeldes



Quelle: Didriks/flickr (CC BY 2.0; www.flickr.com/photos/dinnerseries/8556666861/; 28.9.2020)

Verbreitung und Trends

In etwa 27 % aller deutschen Haushalte steht ein Induktionsherd. Neue Funktionen, z. B., dass das Gerät die Größe und Positionierung bzw. die Füllmenge des Kochgeschirrs selbstständig erkennt und die Heizfunktion entsprechend steuert (flexible Induktion) oder die Steuerung mittels Smartphone-App, gewinnen sukzessive an Bedeutung. Insgesamt geht der Trend hin zu smarteren, großvolumigeren und effizienteren Geräten (gfu 2016; GfK 2017).

Technische Daten

Tab. 2.8 Technische Daten: Induktionsherd

Frequenzbereiche	0,020–0,100 MHz
Heizleistung	pro Platte 1.200–3.600 W
maximal zulässige Strahlungsleistung (Abstand 30 cm)	6,25 μ T

Quelle: BAG 2016c

2.1.9 Induktives Laden bei Elektrokleingeräten

Name des Standards

Qi und AirFuel

Produkte und Anwendungsfälle

Mit induktiven Ladegeräten können mobile Elektrokleingeräte, die diesen Ladestandard unterstützen, wie Smartphones, Tablets oder elektrische Zahnbürsten, drahtlos geladen werden. Dafür wird das Gerät auf eine Ladestation gelegt oder gesteckt. Die Ladestation als Sender enthält eine Primärspule, die ein elektromagnetisches Wechselfeld im Frequenzbereich von 110 bis 275 kHz aussendet. Das Elektrokleingerät besitzt eine Empfängerspule (Sekundärspule), in der ein elektrischer Strom induziert wird, der über eine Ladeelektronik den Akku im Kleingerät auflädt. Das Wirkprinzip entspricht dem eines Transformators. Die typische Entfernung zwischen Ladestation und mobilem Gerät beträgt 5 mm. Die Effizienz der Energieübertragung nimmt mit der Entfernung zwischen Primär- und Sekundärspule ab (Zahner et al. 2017).

Es existieren derzeit zwei Industriestandards zur drahtlosen Energieübertragung für Kleingeräte: der Qi-Standard des Wireless Power Consortium (WPC) und AirFuel der AirFuel Alliance. Die AirFuel Alliance ging im Jahr 2015 aus einem Zusammenschluss der Alliance for Wireless Power (A4WP) und der

Power Matters Alliance (PMA) hervor. AirFuel verbindet zwei Ladestandards. Rezence auf Basis resonanter Kopplung und Powermat, das induktiv gekoppelt wird. Qi nutzt derzeit allein eine induktive Kopplung, ist aber deutlich weiter verbreitet und dominiert derzeit den Markt (QInside 2018; Zahner et al. 2017).

Abb. 2.9 Beispielbild für eine induktive Ladestation



Quelle: IKEA (www.ikea.com/de/de/cat/kabellos-laden-zubehoer-41069/; 28.9.2020)

Induktives Laden von Geräten ist weniger energieeffizient als das Aufladen über Kabel, da Verluste im Bereich der Spulen und deren Elektronik auftreten. Typische Wirkungsgrade des Energieübergangs vom Netzstrom (230 V Wechselstrom) zum Ladeeingang des Elektrokleingerätes liegen zwischen 46 % und 58 %. Kabelgebundenes Laden (USB-Ladegerät) weist dagegen Wirkungsgrade von 61 % bis 77 % auf (Siddabattula 2015 zitiert in Zahner et al. 2017). Weitere Verluste treten nach Abschluss der Batterieladung im Standbybetrieb auf. Hier verbrauchen induktive Ladestationen im Vergleich zu kabel- bzw. steckergebundenen Ladesystemen rund doppelt so viel Energie. Liegt ein Gerät auf dem Lademodul auf, erhöht sich der Standbyverlust sogar bis um das Dreifache (Zahner et al. 2017).

Induktive Ladestationen können nahezu unsichtbar in Möbel integriert oder als Extrageräte verwendet werden. Sie senden kontinuierlich ein Signal und prüfen, ob sich auf ihnen ein zu ladendes Gerät befindet, dessen Standard kompatibel ist und ob es geladen werden muss (QInside 2018; Zahner et al. 2017).

Verbreitung und Trends

Das Wireless Power Consortium weist über 600 Mitglieder auf.⁷ Darunter sind namhafte Firmen wie Google, Apple, Canon, Asus, Nokia oder Toshiba. Die AirFuel Alliance hat mit ca. 85 Mitgliedern deutlich weniger Zulauf (AirFuel Alliance 2018). Aber auch hier finden sich einflussreiche Namen wie Starbucks, 3M,

⁷ Stand: September 2019; <https://www.wirelesspowerconsortium.com/about/about-wpc> (28.9.2020)



Hewlett-Packard, Sony oder Motorola. Etliche Firmen gehören beiden Vereinigungen an, so z. B. TDK, Samsung, Infineon, Dell, LG oder HTC.

Seit der Markteinführung 2008 hat sich der Qi-Standard breit durchgesetzt. Fast alle Spitzenmodelle der namhaften Hersteller sind heute ab Werk kabellos über Qi-Schnittstellen aufladbar. Darüber hinaus gibt es Qi-Receiver als Nachrüstoption (Aschermann 2017; Bauer 2019).

Im Versuchsstadium sind derzeit noch weitergehende Vorstellungen, induktives Laden zukünftig noch einfacher zu gestalten. Hierzu sollen ganze Räume mit elektromagnetischen Feldern ausgestattet werden, um auf diese Weise Geräte wie Smartphones o. Ä. induktiv zu laden. Im »Quasistatic Cavity Resonance« (QSCR) genannten Verfahren wird in einem abgeschirmten Raum mit einer Kupfersäule in der Raummitte ein elektromagnetisches Feld aufgespannt. Dieses kann auf Sekundärspulen, die sich irgendwo im Raum befinden, kabellos eine elektrische Leistung von bis zu 1,9 kW übertragen (Chabalko et al. 2017; Reszel 2017).

Technische Daten

Tab. 2.9 Technische Daten: induktives Laden Elektrokleingeräte

Frequenzbereich	110–275 kHz (Qi), 6,78 MHz (AirFuel Resonant)
Ladeleistung	typisch 5–15 W, 200 W in Entwicklung
maximal zulässige Strahlungsleistung (Abstand 30 cm)	6,25 µT

Quellen: BAG 2016c; Würth und infineon 2019; Zahner et al. 2017

2.1.10 Induktives Laden bei E-Fahrzeugen

Name des Standards

Verschiedene Normen zum kabellosen Laden von E-Fahrzeugen befinden sich in der Entwicklung und sollen gemäß der »Deutschen Normungs-Roadmap Elektromobilität 2020« vor der breiten Markteinführung ab 2020 verfügbar sein (Nationale Plattform Elektromobilität 2017):

- > ISO 19363 (Ladeschnittstelle Fahrzeug)
- > IEC 61980 (Ladeschnittstelle Ladeinfrastruktur)
- > ISO 15118 (Kommunikation)

Hinzu kommen Aktivitäten zur Definition von Industrie-Standards, z. B. SAE J2954 (in Entwicklung seit 2012)⁸

⁸ <https://www.sae.org/standards/content/j2954/> (SAE International, früher Society of Automotive Engineers ist eine international tätige gemeinnützige Organisation, die u. a. technische Standards im Bereich Mobilitätstechnologien entwickelt) (22.9.2020)

Produkte und Anwendungsfälle

Das Funktionsprinzip für induktives Laden von Elektrofahrzeugen ist ähnlich dem beschriebenen für Elektrokleingeräte. Die elektromagnetische Primärspule befindet sich hier in der Fahrbahn, der Leitplanke oder unter dem Bodenbelag. Die Sekundärspule wird in den Fahrzeugboden oder das Nummernschild verbaut oder dort nachträglich integriert. Sie wandelt das erzeugte Magnetfeld wieder in elektrischen Strom um und lädt damit den Akku des Elektrofahrzeugs. Der Energieverlust beim Laden beträgt mindestens 5 bis 15 %. Wie beim Induktionsladen von Kleingeräten hängt auch hier die Energieeffizienz vom Abstand der beiden Spulen bzw. dem Luftspalt zwischen ihnen ab. Ebenso ist eine exakte Positionierung des Fahrzeugs über der Primärspule nötig, um Streuverluste zu vermeiden (DKE 2016; Vezzini 2014; Großmann 2015).

Verschiedene Zulieferer bzw. Automobilhersteller treiben die Entwicklung und Markteinführung von induktivem Laden für Elektrofahrzeuge voran, u. a. Bombardier (Primove)⁹, WiTricity (DRIVE (Witricity 2016), in Kooperation u. a. mit Honda, Nissan, GM, Hyundai) (Davison 2017; Witricity 2019), Continental (Schmid 2018), Brusa¹⁰, Audi (Audi Wireless Charging – AWS¹¹), Mercedes-Benz (Jordan 2018). BMW ist bereits mit einem ersten System zum induktiven Laden als Sonderausstattung in Serie gegangen (Schmid 2018).

Pilotprojekte zu induktivem Laden von ÖPNV-Fahrzeugen gibt es u. a. in den Städten Augsburg, Braunschweig, Mannheim und Berlin (Großmann 2015). Die Ladezeiten für E-Gelenkbusse der Braunschweiger Verkehrs-GmbH liegen bspw. zwischen 11 Minuten bei einer Schnellladung mit einer Ladeleistung von 200 kW (Gelenkbus »emik« mit 60 kWh-Akku) (Braunschweiger Verkehrs-GmbH o. J.) oder ca. 2,5 Stunden bei einer Normalladung mit einer Ladeleistung von 22 kW. Allerdings erfüllten sich nicht immer die mitunter hochgesteckten Erwartungen. So musste beispielsweise in Mannheim neben den beiden E-Bussen zusätzlich ein Bus mit Dieselantrieb eingesetzt werden, u. a. aufgrund von Problemen mit Ladezeiten und Werkstattaufenthalten (Wilkens 2018).

Neben dem statischen Laden an einer ortsfesten Ladestation gibt es auch Konzepte zum dynamischen Laden während der Fahrt. Die entsprechende Ladefrastruktur könnte z. B. in den Straßenbelag oder in Leitplanken integriert werden. Hierzu existieren einige Pilotprojekte, wie das von Qualcomm in Versailles (Großmann 2015; Greis 2017).

9 <https://www.mannheim.de/de/service-bieten/verkehr/rnv-primove-mannheim> (28.9.2020)

10 <https://www.brusa.biz/entwicklung/projektbeispiele/induktives-laden.html> (28.9.2020)

11 <https://www.audi-mediacycenter.com/de/audi-future-performance-days-2015-5097/schnellladen-und-audi-wireless-charging-5102>, <https://www.audi.com/de/experience-audi/models-and-technology/concept-cars/audi-pb18-e-tron.html> (28.9.2020)

Abb. 2.10 Beispielbild für E-Bus auf der Induktionsladestation



Quelle: Lord Alpha/Wikipedia (CC BY-SA 3.0; <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=33491064>; 28.9.2020)

Verbreitung und Trends

Insgesamt befindet sich die induktive Ladetechnik für E-Fahrzeuge noch in einer Entwicklungsphase, nicht zuletzt weil die nötige Infrastruktur im Moment noch mit hohen Kosten verbunden ist und diese Ladetechnik im Vergleich zum kabelgebundenem Laden höhere Energieverluste aufweist. Auch müssen verbindliche Standards für das induktive Laden vereinbart sowie Normen weiterentwickelt werden. Vorerst findet demnach noch kein verbreiteter Einsatz der induktiven Ladetechnik für E-Fahrzeuge statt (Stocker 2015; DKE 2016).

Entsprechende Weiterentwicklungen bei Technologie, Normen und Standards vorausgesetzt, könnte sich das kabellose Laden in bestimmten Anwendungsbereichen auch rascher etablieren, z. B. bei autonomen Fahrzeugen. Wenn ein Fahrzeug öfter am Tag kleinere Energiemengen induktiv nachladen würde, könnte man u. U. die Batteriekapazität an Bord verringern, was sich auf das Gewicht und die (Betriebs-)Kosten des Fahrzeugs positiv auswirken könnte (Weißberg 2017).

Technische Daten

Tab. 2.10 Technische Daten: induktives Laden E-Fahrzeuge

Frequenzbereiche	20–150 kHz
Ladeleistung (pro Ladestation)	3,6–350 kW
maximal zulässige Strahlungsleistung (Abstand 30 cm)	6,25 μ T

Quellen: BAG 2016c; Braunschweiger Verkehrs-GmbH o. J.; DKE 2016; Schraven et al. 2010

2.2 Stellungnahmen und Empfehlungen der SSK

Die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) hat sich in einigen Stellungnahmen und Empfehlungen mit Expositionen der Bevölkerung durch HF-Strahlung befasst. Von besonderem Interesse sind hier die Empfehlungen aus dem Jahr 2001 zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern (SSK 2001). Die SSK hat insbesondere empfohlen, Grenzwerte nicht vollständig auszuschöpfen, um Spielraum für die Nutzung neuer Technologien auch in Zukunft zu behalten. Ausgehend vom Vorsorgegedanken hat die SSK weiterhin empfohlen, Expositionen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Rahmen der technischen und wirtschaftlich sinnvollen Möglichkeiten zu minimieren, insbesondere in Bereichen, in denen sich Personen regelmäßig über längere Zeit aufhalten.

Die SSK verfolgt die technische Entwicklung und hat Stellungnahmen zu neuen Technologien abgegeben, zuletzt im Jahr 2013 (SSK 2013). Diese Stellungnahme ist im Kapitel 2.2.1 zusammengefasst. Daran schließt sich in Kapitel 2.2.2 ein Überblick über die Emissionsstandards bei gleichzeitig betriebenen Feldquellen an, die die SSK im Jahr 2007 veröffentlicht hat.

2.2.1 Statusbericht zu elektromagnetischen Feldern neuer Technologien

Als neue Technologien hat die SSK (2013) verschiedene Anwendungen betrachtet, die zum Teil für die hier durchzuführenden Untersuchungen nicht einschlägig sind. Der Vollständigkeit halber sind diese aber nachfolgend ebenfalls genannt. Im Einzelnen hat die SSK folgende Anwendungsbereiche betrachtet:

- › Telekommunikation
 - LTE als Weiterentwicklung von UMTS
 - digitaler Behördenfunk (TETRA-BOS)
 - Ultra-Wideband-(UWB-)Technologien
 - Femtozellen, beispielsweise als integraler Bestandteil von WLAN- oder DSL-Router
 - lokale Funknetze (WLAN)
 - digitaler Rundfunk (DAB+) und digitales Fernsehen (DVB-T2),
 - Smarthome
 - Funkanwendungen in Flugzeugen
 - geändertes Mobilfunknutzungsverhalten, z. B. Verschiebung hin zur Internetnutzung
 - neue Nutzung von Frequenzbereichen und hierdurch veränderte Immissionen, z. B. durch Ersatz von DVB-T durch LTE



- Verkehrswesen
 - Funkanwendungen im Fahrzeugbereich, z. B. Car2Car, Car2I
 - Elektro- und Hybridfahrzeuge
- Energieübertragung
 - berührungslose Energieübertragung zur kontakt- und damit kabellosen Aufladung ortsveränderlicher elektrischer Verbraucher
 - Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ)
- Gesundheitswesen
 - Funkanwendungen im Gesundheitswesen, z. B. Bedsidemonitoring,
 - medizinische Anwendungen, z. B. MRT
- sonstige Anwendungen
 - Terahertz, z. B. Körperscanner für die Personenkontrolle
 - LED und Kompaktleuchtstofflampen
 - funktionelle Kleidung, z. B. zur Erfassung von Biosignalen oder zur aktiven Regulation
 - drahtlose Identifikationssysteme zur Erkennung von Produkten, Gegenständen und Personen (RFID)

Für die einzelnen Anwendungen wird unter anderem auf zugehörige Frequenz- und Leistungsbereiche eingegangen. Soweit möglich, wird auch die Exposition, beispielsweise als Angabe des möglichen Ausschöpfungsgrades von Grenzwerten, genannt. Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchung von möglichen HF-Expositionen sind die folgenden Angaben von Interesse:

- Durch LTE-Basisstationen ist mit einer maximalen Ausschöpfung der Leistungsflussdichtegrenzwerte im einstelligen Prozentbereich, häufig im oder unterhalb des Promillebereichs zu rechnen (SSK 2013, S. 4).
- Aufgrund der durch die Regulierung festgelegten äußerst geringen Sendeleistungen der UWB-Technologien ist davon auszugehen, dass diese von untergeordneter Relevanz für eine Exposition der Allgemeinbevölkerung ist (SSK 2013, S. 5).
- Hinsichtlich der Immissionen durch WLAN-Access-Points und Endgeräte wird auf Untersuchungen verwiesen, denen zufolge an einem Laptop in 0,5 m Abstand maximal 0,2 % des Leistungsflussdichtegrenzwerts erreicht werden, in 1 m Abstand weniger als 0,05 %. Bei direktem Kontakt zum Endgerät kann der Basisgrenzwert lokal (SAR gemittelt über 10 g) bis zu 22 % ausgeschöpft werden. Die maximale Sendeleistung der Access Points ist mit 3 mW bis 29 mW gering, beispielsweise deutlich niedriger als bei Mobiltelefonen. In typischen Aufenthaltsbereichen um Access Points treten Immissionen von weniger als 0,01 % des Leistungsflussdichtereferenzwerts der Empfehlung des Rates 1999/519/EG auf (SSK 2013, S. 6).

- > In Hybrid-PKW lagen Untersuchungen in (Schmid et al. 2009) zufolge die lokal auftretenden Maximalimmissionen zwischen 29 % und 35 % der Referenzwerte der Empfehlung des Rates 1999/519/EG. In den untersuchten Elektrofahrzeugen wurden Werte zwischen 3 % und 25 % ermittelt. Diese Maximalwerte traten in den meisten Fällen lokal stark begrenzt am Fahrer- und Beifahrerplatz typischerweise im Fuß- und Unterschenkelbereich primär während des Bremsens und Beschleunigens auf. Während annähernd stationärer Fahrverhältnisse lagen die Immissionswerte teilweise deutlich unter den genannten Maximalwerten. In einem untersuchten elektrisch angetriebenen Nahverkehrsbus wurden am exponiertesten Fahrgastplatz bis zu 19 % des Referenzwertes der Empfehlung des Rates 1999/519/EG erreicht. Die erhobenen Maximalwerte liegen in ähnlicher Größenordnung wie die Immissionen im Fahrgastbereich von Eisenbahnzügen (SSK 2013, S. 10).
- > Zu HF-Emissionen durch LED und Kompaktleuchten hat die SSK auf ihre frühere Stellungnahme (SSK 2010) verwiesen. Dort hat die SSK festgestellt, dass die Grenzwerte für elektrische und magnetische Felder bei allen untersuchten Quellen schon in sehr kurzen Abständen von wenigen Zentimetern eingehalten werden, sodass bei üblichen Nutzungsabständen keine Gefährdung besteht. Bei Untersuchungen an unterschiedlichen Modellen von Kompaktleuchtstofflampen wurde eine maximale Ausschöpfung des Grenzwerts in 30 cm Abstand bei der elektrischen Feldstärke von 1,4 % bis (im Extremfall) 68 % ermittelt, bezüglich der magnetischen Wechselfelder waren die Expositionen im Verhältnis zum Grenzwert deutlich geringer, sie betrugen zwischen 0,5 % und 1,3 % (SSK 2010, 24 f.). Bei LED-Leuchten hingegen wurden lediglich sehr geringe Feldemissionen festgestellt (SSK 2010, S. 26).

2.2.2 Empfehlungen für Emissionsstandards bei gleichzeitig betriebenen Feldquellen

Mit Fragen der Exposition bei mehreren Feldquellen hat sich die SSK (2007) befasst. Nach ihrer Auffassung ist die Beurteilung der möglichen Gesamtexpositionssituation bei der Einwirkung von gleichzeitig betriebenen Feldquellen für den Hersteller bzw. den Inverkehrbringer einer einzelnen Feldquelle im Rahmen der allgemeinen Produkthaftungs- sowie Betriebssicherheitsbestimmungen verpflichtend. Angaben über daraus abzuleitende Benutzungseinschränkungen sind in der Bedienungsanleitung anzugeben. Allerdings sieht die SSK die Erfassung der Expositionssituation beim Kunden aufgrund der Vielzahl möglicher benutzter Feldquellen anderer Hersteller sehr variabel und messtechnisch aufgrund der Parametervielfalt oft nicht vollständig durchführbar. Zur Gewährleistung der Einhaltung der ICNIRP-Empfehlungen bei gleichzeitiger Exposition gegenüber mehreren Feldquellen im Frequenzbereich 0 bis 300 GHz hat die SSK drei Praxisregeln formuliert, die folgende Kernaussagen beinhalten (SSK 2007, S. 4 f.):



- › Regel 1: Schöpfen die zu erwartenden Feldstärkewerte einer Feldquelle die nach ICNIRP gegebenen Referenzwerte maximal zu einem Drittel aus (zu betrachten ist hier der Worst Case, insbesondere die ungünstigsten Betriebszustände sowie der geringste Körperabstand zur Feldquelle bei bestimmungsgemäßem Gebrauch), so kann die Einhaltung der Basisgrenzwerte auch im Alltag beim Auftreten multipler Expositionen durch weitere Feldquellen vermutet werden, und es sind keine zusätzlichen Maßnahmen seitens des Herstellers notwendig.
- › Regel 2: Liegen die zu erwartenden Feldstärkewerte oberhalb der nach Regel 1 bestimmten Drittel-Schranke der Referenzwerte, kann aber der Hersteller (nach anerkanntem Stand der Technik und Wissenschaft) nachweisen, dass die Basisgrenzwerte zu nicht mehr als einem Drittel ausgeschöpft werden, so sind ebenfalls keine weiteren zusätzlichen Maßnahmen seitens des Herstellers notwendig.
- › Regel 3: Wird die Drittel-Schranke überschritten, muss der Hersteller in der Praxis mögliche ungünstigste Szenarien multipler Expositionen identifizieren. Die Gesamtexposition in Bezug auf die Basisgrenzwerte ist nach den in den ICNIRP-Leitlinien gegebenen Additionsregeln zu ermitteln (ICNIRP 1998, 513 f.). Warnhinweise auf mögliche Szenarien mit dem Risiko einer Überschreitung der Basisgrenzwerte sind in den Bedienungsanleitungen anzugeben und mit entsprechenden Anweisungen zu ergänzen, wie diese zu vermeiden sind.

Diese Regeln sind allerdings nicht per se für die Hersteller von Geräten verbindlich. Daher empfiehlt die SSK auch, deren Umsetzung bei europäischen und nationalen Normungsgremien einzufordern bzw. geeignete Schritte (z. B. Selbstverpflichtungen, gesetzliche Regelungen) zu ergreifen, um die Einhaltung der ICNIRP-Leitlinien auch bei gleichzeitigem Gebrauch mehrerer Feldquellen zu gewährleisten (SSK 2007, S. 5).

2.3 Untersuchungen zur Abschätzung von HF-Expositionen der Bevölkerung aus verschiedenen Quellen

Im nachfolgenden Kapitel werden Ergebnisse aus Untersuchungen aus dem Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm (Kap. 2.3.1), aus im Anschluss daran durchgeführten Untersuchungen (Kap. 2.3.2) sowie aus weiteren Untersuchungen zur Exposition (Kap. 2.3.3) dargestellt, soweit sie die Ermittlung von Expositionen zum Inhalt haben.

2.3.1 Untersuchungen im DMF

Einige der Forschungsvorhaben des DMF haben sich mit der Frage der Exposition von Personen der Bevölkerung befasst. Deren Ergebnisse werden nachfolgend kurz beschrieben, soweit sie für die hier zu untersuchenden Fragestellungen von Interesse sind.

2.3.1.1 Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren in Haushalt und Büro

Ziel des Forschungsvorhabens durch Schmid et al. (2005) war die Erarbeitung einer detaillierten Übersicht über gegenwärtig bereits verwendete und in naher Zukunft am Markt zu erwartende drahtlose Kommunikationseinrichtungen für Heim- und Büroanwendungen. Neben einer Beschreibung und Gegenüberstellung hinsichtlich für den Strahlenschutz relevanter Parameter der verschiedenen Technologien sollten auch die damit verknüpften messtechnischen Anforderungen für eine adäquate und zuverlässige Expositionserfassung erarbeitet und dokumentiert werden. Schließlich sollten für typische, ausgewählte Szenarien die resultierenden Expositionen durch die betrachteten Technologien erfasst werden.

Im Forschungsvorhaben wurden neben Schnurlostelefonen (u. a. DECT) und lokalen Funknetzwerken (WLAN/WPAN¹²) auch nichtstandardisierte Geräte, wie z. B. Babyphone, berücksichtigt. Es wurden Messungen und umfangreiche Computersimulationen sowohl für körpernah betriebene Geräte als auch für komplexe Expositionsszenarien (z. B. mit parallelen DECT- und WLAN-Installationen in Büroumgebungen) durchgeführt. Diese haben ergeben, dass die von DECT-, WLAN- und Bluetoothgeräten in typischen Anwendungsszenarien verursachten Immissionen unter 0,1 % der Referenzwerte der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG liegen (Schmid et al. 2005, S. 1). Die insgesamt höchsten Immissionen wurden in der Umgebung des leistungsstärksten der untersuchten Geräte, einem Babyphon mit 500 mW Sendeleistung gefunden (6,5 % der Referenzwerte, Schmid et al. 2005, S. 2).

Zur Abschätzung der Gesamtexposition durch verschiedene Quellen, die im Haushalt und am Arbeitsplatz vorliegen können, wurde ein Haushaltsszenario mit WLAN, DECT und Babyphon modelliert und die HF-Exposition numerisch abgeschätzt (Schmid et al. 2005, 166 ff.). Die Annahmen zur Geräteausstattung und -positionierung wurden so gewählt, dass sie sich hinsichtlich der Exposition möglichst ungünstig auswirken sollten: Ein unmittelbar an ein Kinderzimmer angrenzender Arbeitsplatz ist mit WLAN (Client Computer am Schreibtisch, Access Point an der Wand zum Kinderzimmer), einem DECT-Schnurlostelefon (Basisstation und Mobilteil) und einer drahtlosen Webcam (auf dem Monitor platziert)

12 Wireless Personal Area Networks, damit sind kleinräumige Funknetzwerke auf Basis der Normenfamilie IEEE 802.15 gemeint. Dazu zählt Bluetooth (IEEE 802.15.1) oder auch ZigBee, XBee und vergleichbare Smarthomefunkstandards (IEEE 802.15.4)



ausgestattet. Weiterhin befindet sich die Sendestation eines drahtlosen Kopfhörersystems auf dem Schreibtisch (zwischen Computer und Monitor). Im benachbarten Kinderzimmer (Kinderbett unmittelbar an der Trennwand zum Arbeitsplatz) wird ein Babyphon im Kinderbett liegend betrieben, obwohl dies gemäß der Herstellerangaben der meisten Geräte zu vermeiden ist. Die Positionierung des WLAN-Access Points wurde an der Wand angenommen, an der im Nebenraum das Kinderbett steht. Die Außenwände wurden als Ziegelwände, die Innenwände als Trockenbaukonstruktion (maximale HF-Durchlässigkeit) modelliert. Als Frequenzen und Sendeleistungen wurden zugrunde gelegt:

- > WLAN-Client Computer: 2.462 MHz, 16 mW
- > WLAN-Access Point: 2.462 MHz, 50 mW
- > DECT-Basisstation: 1.890 MHz, 250 mW
- > DECT-Mobilteil: 1.890 MHz, 250 mW
- > Webcam: 2.450 MHz, 10 mW
- > Funkkopfhörer: 860 MHz, 10 mW
- > Babyphon: 446 MHz, 20 mW/500 mW

Für fünf verschiedene Situationen wurden betrachtet:

- > Situation 1: WLAN im Uploadbetrieb, DECT-Gespräch aktiv, Babyphon aktiv/500 mW, Webcam aktiv, Funkkopfhörer aktiv Worst Case)
- > Situation 2: WLAN im Uploadbetrieb, DECT-Gespräch aktiv, Babyphon aktiv/20 mW, Webcam aktiv, Funkkopfhörer aktiv
- > Situation 3: WLAN im Downloadbetrieb, DECT-Gespräch aktiv, Babyphon aktiv/20 mW, Webcam aktiv, Funkkopfhörer aktiv
- > Situation 4: WLAN im Uploadbetrieb, kein DECT-Gespräch, Babyphon nicht aktiv, Webcam aktiv, Funkkopfhörer aktiv
- > Situation 5: WLAN im Downloadbetrieb, DECT-Gespräch aktiv, Babyphon nicht aktiv, Webcam aktiv, Funkkopfhörer aktiv

Die für die fünf Situationen ermittelten relativen Ausschöpfungen des Grenzwerts der Leistungsflussdichte am Arbeitsplatz und im Kinderbett sind in Tabelle 2.11 aufgeführt. Bei den Ergebnissen wird die große Bedeutung des Babyphons deutlich, nicht nur im Zimmer des Babys, sondern auch in einem angrenzenden Raum, selbst beim geringeren Wert der Sendeleistung (20 mW). Demgegenüber trägt der WLAN-Client Computer in keiner der betrachteten Situationen wesentlich zur Gesamtexposition bei.

Tab. 2.11 Ausschöpfungen des Grenzwerts der Leistungsflussdichte in fünf untersuchten häuslichen Situationen

Situation	Arbeitsplatz		Kinderbett	
	Grenzwert-ausschöpfung in %	relativer Anteil der Quellen in %	Grenzwert-ausschöpfung in %	relativer Anteil der Quellen in %
1	0,377	Babyphon: 92,9 Webcam: 2,0 DECT Basisstation: 1,5 Funkkopfhörer: 1,5	5,86	Babyphon: 99,5
2	0,041	Babyphon: 34,4 Webcam: 18,9 Funkkopfhörer: 14,3 DECT Basisstation: 14,0 DECT Mobilteil: 12,3 WLAN Access Point: 5,4	0,263	Babyphon: 88,8 DECT Mobilteil: 6,5
3	0,056	WLAN Access Point: 31,9 Babyphon: 24,9 Webcam: 13,7 Funkkopfhörer: 10,3 DECT Basisstation: 10,2 DECT Mobilteil: 8,9	0,267	Babyphon: 87,3 DECT Mobilteil: 6,4 Funkkopfhörer: 2,4
4	0,017	Webcam: 44,8 Funkkopfhörer: 33,7 WLAN Access Point: 12,8 DECT Basisstation: 7,0	0,012	Funkkopfhörer: 51,8 Webcam: 41,1 WLAN Access Point: 4,9
5	0,033	WLAN Access Point: 54,8 Webcam: 23,6 Funkkopfhörer: 17,8	0,017	Funkkopfhörer: 38,3 WLAN Access Point: 30,7 Webcam: 30,4

Quelle: Schmid et al. 2005, S. 170

2.3.1.2 Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich

Anlass des Forschungsvorhabens (Christ et al. 2006) war, dass im Hinblick auf die Verwendung neuer Technologien (UMTS, WLAN) verstärkt mit der Platzierung der mobilen Sender im Bereich des Unterbauchs (Gürteltasche) oder Brustbereichs (Hemdtasche) zu rechnen ist. Über die zu erwartenden spezifischen Absorptionsraten in den betreffenden Geweben lagen aber keine belastbaren Daten



für eine Risikoabschätzung vor. Das Forschungsvorhaben sollte daher die Frage beantworten, ob es im Rumpfbereich sensible, lokale Bereiche gibt, die unter den angesprochenen Randbedingungen stärker exponiert sind und denen im Rahmen eines wirksamen Strahlenschutzkonzeptes besonders Rechnung zu tragen ist. Im Rahmen des Projektes sollte die Exposition von oberflächennahen Organen (insbesondere Leber, Niere, Milz, Gonaden, Brust) durch körpernahe Sender ermittelt und bewertet werden. Dazu waren rechentechisch die entsprechenden SAR-Werte und Temperaturverteilungen für unterschiedliche Expositionsgeometrien, verschiedene Standard-Sender und Standard-Körperabmessungen zu ermitteln. Die Untersuchung umfasste den Frequenzbereich von 0,4 GHz bis 10 GHz.

Die durchgeführten Berechnungen in einem geschichteten Modell haben ergeben, dass bei einer Gewebeschicht, die geringe Permittivität (Dielektrizitätskonstante, ein physikalischer Gewebeparameter für die dielektrische Leitfähigkeit) für elektrische Felder aufweist (z. B. Fett, Knochen) und von zwei Schichten mit hoher Permittivität (Haut, Muskel, innere Organe) umgeben ist, unter Fernfeldbedingungen und bei bestimmten Schichtdicken in dieser Gewebeschicht Stehwellen entstehen können, die zu einer Erhöhung der SAR-Werte in den benachbarten Schichten, vor allem in der Haut, führen können. Im Vergleich zu homogenen Geweben unter ansonsten gleichen Bedingungen wurde ein Anstieg der SAR-Werte um bis zu etwa einen Faktor 3 ermittelt. Da dies nur ab einer Entfernung der Feldquelle von einigen cm vom Körper passiert, werden Grenzwerte nicht überschritten. Unter Nahfeldbedingungen treten Stehwellen nicht auf.

Die Resultate des generischen Modells wurden an anatomischen Modellen unter Belastung mit den folgenden Geräten simuliert: Walkie-Talkie bei 450 MHz, Mobiltelefon bei 900 (GSM) und 1.950 MHz (UMTS) und ein Computer mit WLAN-Karte bei 2.450 MHz. Im Vergleich zum Flachphantom zeigte sich, dass dieser überwiegend konservative Werte gegenüber der Exposition durch Geräte im Rumpfbereich liefert. Nur in einigen Ausnahmefällen unterschätzte das Phantom die Exposition um max. 5 %. Die maximale Exposition trat durchgehend an der Körperoberfläche auf, die Exposition der inneren Organe selber war deutlich geringer. Bei der Benutzung eines Laptops mit WLAN trat die maximale Exposition in den Oberschenkeln auf, die Exposition der Geschlechtsorgane war deutlich geringer. Die im generischen Modell beobachteten Stehweleneffekte konnten am anatomischen Modell bestätigt werden, waren aber weniger ausgeprägt.

Der Temperaturanstieg durch eine HF-Exposition wurde am geschichteten Modell im Frequenzbereich von 30 MHz bis 5,8 GHz berechnet. Der maximale Temperaturanstieg trat durchwegs in den oberflächennahen Schichten auf, überwiegend in der Haut. Bei freier Konvektion wurde ein Temperaturanstieg bis zu 0,8 °C nach 30 Minuten erreicht, unter adiabatischen Bedingungen (keine Wärmeabgabe an die Umgebung) ein Temperaturanstieg bis zu 2,5 °C nach 6 Minuten und bis zu 3,5 °C nach 30 Minuten. Die am generischen Modell erzielten

Ergebnisse wurden an anatomischen Modellen überprüft. Für diese Überprüfung wurde die Frequenz 450 MHz gewählt, da infolge der höheren Eindringtiefe hier mit der stärksten Erwärmung der inneren Organe zu rechnen ist. Der maximale Temperaturanstieg lag auch hier in den oberflächennahen Gewebeschichten, etwa 7 bis 22 mm unter der Körperoberfläche, und betrug 0,16 bis 0,23 °C (freie Konvektion) bzw. 0,23 bis 0,31 °C (adiabatische Bedingungen). Die Erwärmung der inneren Organe erreichte dabei maximal 0,11 °C, die der Geschlechtsorgane maximal 0,04 °C.

Die Untersuchungen zeigten demnach, dass durch die Schichtung des Körpergewebes Effekte auftreten können, durch die es im Vergleich zu homogenem Gewebe oder Gewebe simulierenden Flüssigkeiten zur erhöhten Absorption elektromagnetischer Felder im Körper kommt. Da sie nur im Fernfeldbereich auftreten, kommt es nach (Christ et al. 2006) aber nicht zu einer Überschreitung der Grenzwerte. Die durch die Exposition induzierte Temperaturerhöhung im geschichteten Gewebe kann unter Extrembedingungen (maximale Absorption, keine Thermoregulation, keine Wärmeabgabe durch die Haut) über 3,5 °C betragen und kann damit deutlich höher sein als zuvor angenommen wurde. Ein solches Szenario wird allerdings von (Christ et al. 2006) als sehr unrealistisch angesehen. Es wurde konstatiert, dass bei freier Konvektion maximal 0,8 °C erreicht werden und der für die inneren Organe ermittelte Temperaturanstieg wurde als vernachlässigbar angesehen, sofern die SAR-Grenzwerte eingehalten werden.

2.3.1.3 Bestimmung praxisnaher SAR-Werte von Handys

Ziel der Untersuchungen im Vorhaben »Bestimmung der SAR-Werte, die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftreten« (Georg et al. 2005), war die Bestimmung tatsächlich auftretender SAR-Werte. Diese sind für die Bewertung der realen Exposition von Handynutzern wesentlich aussagekräftiger als die von den Herstellern für Normbedingungen angegebenen Werte.

Es wurden sowohl GSM als auch UMTS-Handys bei verschiedenen Nutzerszenarien untersucht. Beim GSM-System erfolgt mit jedem Zellwechsel ein Hochregeln der Sendeleistung des Mobilfunkendgerätes auf den im jeweiligen Netz maximalen Wert. Messungen wurden durchgeführt bei Telefonaten

- > während der Fahrt mit dem PKW,
- > im Zug,
- > bei einem Gang durch ein Gebäude,
- > stationär in einem Raum,
- > beim zu Fuß gehen im Freien.

In Tabelle 2.12 sind Ergebnisse der Untersuchungen zusammengefasst. Die Untersuchung ergab auch, dass bei GSM die maximale Sendeleistung von Mobiltelefonen häufig, nämlich typischerweise zwischen 10% und 30% der gesamten



Gesprächsdauer, erreicht wird (Georg et al. 2005, 71, 76). Während dieser Zeiträume wird ein SAR-Wert erreicht, der dem maximalen vom Hersteller angegebenen SAR-Wert nahekommt. Die SAR-Werte sind deutlich geringer, wenn eine gute Versorgung vorliegt und keine häufigen Zellwechsel erfolgen.

Anders als bei GSM erfolgt bei UMTS bei einem Zellwechsel keine Regelung auf einen Maximalwert, sondern es wird ausgehend von niedriger Sendeleistung so weit hochgeregt wie erforderlich. Demzufolge ergaben sich bei den durchgeführten UMTS-Messungen niedrigere SAR-Werte als bei GSM. Diese lagen je nach untersuchtem Szenario bei ca. 0,01 % bis 0,1 % des zulässigen Grenzwert von 2 W/kg (Georg et al. 2005, S. 9).

Tab. 2.12 Praxisnahe SAR-Werte von Mobiltelefonen

Szenario	Mittelwert der Sendeleistung in % (bezogen auf die maximale Sendeleistung des Geräts)	SAR in % (bezogen auf den Grenzwert von 2 W/kg)
PKW-Fahrten mit vielen Zellwechseln und unterschiedlicher Netzversorgung	25	13
Zugfahrten mit vielen Zellwechseln und schlechter Netzversorgung	50	nicht berechnet
stationär in einem Raum ohne Zellwechsel bei guter Netzversorgung	10	5
stationär in einem Raum ohne Zellwechsel bei nicht so guter Netzversorgung	20	10
Gehen in einem Raum ohne Zellwechsel bei sehr guter Netzversorgung	13	5
Gehen im Freien bei einer mittleren bis schlechten Netzversorgung	70	25

Quelle: Georg et al. 2005, 8, 76

2.3.1.4 Exposition bei Nutzung eines Mobiltelefons in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien

Die Zielsetzung des Vorhabens »Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien« (Georg et al. 2006) legte den Schwerpunkt auf den Vergleich der Handynutzung in Räumen mit metallischen Begrenzungen,

insbesondere in Pkw, Zügen oder Bussen, mit günstigeren Sende- und Empfangsbedingungen im Freien.

Anhand von Messungen und numerischen Modellrechnungen wurde gezeigt, dass in teilgeschirmten Räumen die Feldstärkewerte im Mittel zwar höher liegen, als in vergleichbaren Situationen im Freien, die Grenzwerte in keinem der untersuchten plausiblen Szenarien, also auch bei mehreren gleichzeitigen Telefonaten in einer Fahrgastzelle, überschritten wurden (Georg et al. 2006, S. 9).

Weiterhin wurde gezeigt, dass für den Handynutzer selbst – sogar unter der Voraussetzung maximaler Leistung bei allen ihn umgebenden Mobiltelefonen – das eigene direkt am Kopf gehaltene Handy die fast ausschließliche Ursache seiner Exposition darstellt. Die Erhöhung der SAR-Werte im Kopf aufgrund der reflektierenden Umgebung beträgt maximal 10 bis 15% verglichen mit derselben Situation im Freien. Eine Ausnahme bildet der Spezialfall, wenn der Handynutzer die Seite des Kopfes, an der er das Gerät hält, sehr nahe an eine reflektierende Metallstruktur bringt. Dann kann die Erhöhung des SAR-Werts im Bereich von 30 bis 50% liegen (Georg et al. 2006, S. 436). Für die Exposition eines Handynutzers ist es somit in den allermeisten Fällen praktisch irrelevant, ob er sich etwa in einem Auto oder im Freien befindet.

Für einen Nichtnutzer stellt sich die Situation anders dar. Zwar ist die absolute Exposition (SAR) um mindestens etwa einen Faktor 100 geringer als die des Handynutzers. Die SAR-Werte in dem teilgeschirmten Raum können für einen Nichtnutzer allerdings um etwa einen Faktor 15 (in PKW) bzw. 6 bis 8 (in Bussen und Bahnen) über den Werten im Freien liegen. Für die Exposition eines Nichtnutzers bedeutet es somit einen erheblichen Unterschied, ob ein Szenario in einem teilgeschirmten Raum oder eine vergleichbare Situation im Freien betrachtet wird (Georg et al. 2006, S. 10).

2.3.1.5 Bestimmung der Exposition durch Ultra-Wideband-Technologien

Die Ultra-Wideband-(UWB-)Technik dient der Datenübertragung in weiten Frequenzbereichen¹³. Mit dem Vorhaben »Bestimmung der Exposition durch Ultra-Wideband Technologien« (Schmid et al. 2008) sollte eine belastbare Datenbasis für die bei verschiedenen UWB-Funkanwendungen maximal möglichen und durchschnittlich zu erwartenden Expositionen geschaffen werden.

Die technischen Anwendungsmöglichkeiten (u. a. Übertragung hoher Datenraten über kurze Entfernungen, Aufbau von Sensornetzwerken, Radar für Automobile) gaben zum Zeitpunkt des Forschungsvorhabens Anlass, ein enormes Marktpotenzial der UWB-Technik in der Kommunikationstechnik anzunehmen

13 Die BNetzA hat eine Reihe von Frequenzbändern für UWB freigegeben. Die höchsten Sendeleistungen sind dabei im Bereich 6 bis 8,5 GHz erlaubt BNetzA 2018a.



(Schmid et al. 2008, 29 ff.). Nachdem sich dies kurzfristig nicht realisiert hat, ist aktuell das Interesse an der Technologie wieder neu entflammt.¹⁴

Die im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Immissionsmessungen von bereits am Markt erhältlichen UWB-Geräten ergaben in 15 cm Abstand zeitlich gemittelte Werte der äquivalenten Leistungsflussdichte von maximal ca. 0,32 mW/m² (entspricht 0,0032 % des ICNIRP-Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung von 10 W/m²). Zeitliche Spitzenwerte lagen bei maximal 2,4 mW/m² (Schmid et al. 2008, S. 120). Die messtechnische Bestimmung der bei körpernahe Betrieb von UWB-Quellen hervorgerufenen SAR-Werte erwies sich als mit den zur Verfügung stehenden Techniken nicht möglich, sodass die SAR-Werte rechnerisch abgeschätzt werden mussten.

Die numerischen Simulationen unterschiedlicher Expositionsszenarien mit einer UWB-Quelle in unmittelbarer Nähe zu verschiedenen Körperregionen (Oberschenkel, Hinterkopf, Brust, Auge) ergaben über 10 g Gewebe gemittelte SAR-Werte von maximal 13 mW/kg. Dabei wurde von einer vollständigen Ausnutzung des in Europa zulässigen Sendespektrums ausgegangen (Schmid et al. 2008, S. 121).

Aus den Ergebnissen schließen Schmid et al. (2008, S. 121), dass die von UWB-Geräten zu erwartenden maximalen SAR-Werte um mehrere Größenordnungen geringer einzustufen sind als die von anderen am Körper betreibbaren Funkanwendungen (Mobiltelefon, DECT, WLAN, Bluetoothklasse 1). Selbst im Vergleich zur leistungsschwächsten Bluetoothklasse 3 (1 mW Sendeleistung) werden UWB-Geräte im Allgemeinen noch zu deutlich geringeren SAR-Werten führen.

2.3.1.6 Entwicklung eines praktikablen rechentechnischen Verfahrens zur Ermittlung der tatsächlichen Exposition in komplizierten Immissionsszenarien mit mehreren verschiedenartigen HF-Quellen

Hansen et al. (2007a) haben ein Verfahren entwickelt und beschrieben, mit dem die Exposition einer Person beim gleichzeitigen Einwirken von Feldern unterschiedlicher hochfrequenter Quellen auf der Basis der SAR abgeschätzt werden kann, ohne eine zeitaufwändige feldtheoretische Analyse des Gesamtszenarios durchzuführen. Die in dem Katalog zusammengefassten Einzelszenarien berücksichtigen sowohl Teilkörper- wie auch Ganzkörperexpositionen, hervorgerufen durch mit Kontakt zum Körper betriebene, körpernahe und körperferne Quellen.

¹⁴ So ist die Technik in die neuen iPhone 11 Modelle integriert, um präzise Positionsbestimmungen (die eigene, die des Autos bis hin zu der des Hundes) und darauf aufbauende Dienste zu ermöglichen; Shankland 2019.

2.3.1.7 Untersuchung des Einflusses von Antennen- und Gerätetopologien von körpernah betriebenen drahtlosen Kommunikationsendgeräten auf die von diesen verursachten SAR-Werte

Im Forschungsvorhaben »Untersuchung des Einflusses von Antennen- und Gerätetopologien von körpernah betriebenen drahtlosen Kommunikationsendgeräten auf die von diesen verursachten SAR-Werte« (Hansen et al. 2007b) wurden Endgeräte mobiler bzw. portabler Kommunikationssysteme, die weder in unmittelbarem Kontakt (wie z. B. das Handy am Ohr) noch weit entfernt (wie z. B. eine Basisstation eines Mobilfunknetzwerks), sondern typischerweise in Abständen von Zentimetern bis Dezimetern zum menschlichen Körper betrieben werden, betrachtet. Die Auswahl der Geräte erfolgte anhand der Kriterien »weite Verbreitung«, »lange Nutzungsdauer« und vergleichsweise »hohe Ausgangsleistung«. Bei den untersuchten Endgeräten handelte es sich um

- > ein Notebook mit GPRS-, UMTS- und W-LAN-Funktionalität sowie mit einsteckbarem Bluetooth-USB-Adapter (Frequenzen 900 MHz, 1.950 MHz, 2.450 MHz),
- > eine DECT-Basisstation (Frequenz 1.900 MHz),
- > einen WLAN-Router (Frequenz 2.450 MHz).

Der innere Aufbau der ausgewählten Geräte wurde analysiert und in Computermodelle überführt. Als Personen wurden ein Erwachsener (105 kg Körpergewicht, 1,88 m Körpergröße) und ein Jugendlicher (42 kg Körpergewicht, 1,36 m Körpergröße) betrachtet. Die Umgebung (Fenster, Wände) wurde variiert. Die folgenden Nutzungsszenarien der Geräte wurden untersucht:

- > Notebook auf dem Schreibtisch, Person sitzt davor;
- > Notebook auf den Oberschenkeln;
- > WLAN-Router auf dem Schreibtisch, Person sitzt davor;
- > WLAN-Router auf dem Boden unter dem Schreibtisch (Boden), Person sitzt/steht davor;
- > WLAN-Router an der Wand, Person steht davor;
- > DECT-Basisstation auf dem Schreibtisch, Person sitzt/steht davor.

In Tabelle 2.13 sind Ergebnisse der Untersuchungen zusammengefasst. Der Vergleich der Ergebnisse für das Modell des Jugendlichen (skaliertes Modell) und für das des Erwachsenen ergibt kein einheitliches Bild. Während die Ganzkörper-SAR-Werte bei dem Jugendlichen immer größer waren (ca. 45 % bis 127 %), waren die Teilkörper-SAR-Werte in einigen Szenarien mal größer und in anderen kleiner (Hansen et al. 2007b, S. 70).

Tab. 2.13 Ermittelte SAR-Werte in verschiedenen Nutzungsszenarien

Szenario	weitere Annahmen	maximale SAR (mW/kg)		
		Ganzkörper	Kopf/Rumpf	Gliedmaßen
Notebook auf dem Schreibtisch, Erwachsener sitzt davor	WLAN (Sendeleistung 100 mW)	0,12	5,4	14,6
	Bluetooth (Sendeleistung 100 mW)	0,15	5,7	6,7
Notebook auf den Oberschenkeln	GPRS-Betrieb, Erwachsener	8,8	46,4	1.500
	GPRS-Betrieb, Jugendlicher	8,8	46,4	640
	UMTS-Betrieb, Erwachsener	1,1	12,3	553
	UMTS-Betrieb, Jugendlicher	1,1	12,3	120
WLAN-Router auf dem Schreibtisch, Jugendlicher sitzt davor	Sendeleistung 100 mW	0,09	1,6	2,4
WLAN-Router auf dem Boden unter dem Schreibtisch (Boden), Jugendlicher sitzt davor	Sendeleistung 100 mW	0,04	0,13	5,9
WLAN-Router an der Wand, Erwachsener steht davor	Sendeleistung 100 mW	0,09	17,6	0,22
DECT-Basisstation auf dem Schreibtisch, Person sitzt davor	maximale Auslastung der Station	0,42	15,7	47,5
	Auslastung mit einem Telefongespräch	0,02	0,73	2,20
	Standbybetrieb	0,004	0,15	0,46

Quelle: Hansen et al. 2007b, übersichtlich hier: www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_091.html (28.9.2020)

Der Einfluss der Umgebung (Wand, Fenster) stellte sich als vernachlässigbar heraus. Positionsveränderungen der Geräte um ± 5 cm können dagegen Änderungen der Ganzkörper-SAR-Werte um $\pm 30\%$ bewirken (Hansen et al. 2007b, S. 75). Basierend auf den Ergebnissen wurden auch Optimierungsmöglichkeiten untersucht, mit denen sich in den einzelnen Szenarien SAR-Werte verringern

lassen, beispielsweise durch die Art der Anbringung der Einsteckkarte am Notebook oder durch die Wahl der Antenne.

2.3.1.8 Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN-Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten

Ziel des Vorhabens »Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN-Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten« (Preiner et al. 2006) war die Erfassung der Verteilung elektromagnetischer Felder im Umfeld von WLAN-Sendeantennen öffentlicher »Hotspots« mittels Rechnersimulationen und Messkampagnen.

Es wurden Untersuchungen in einem Café, in einem Flughafenterminal, auf einem Universitätscampus, auf einem Platz im Innenstadtbereich, in Wohnvierteln, in denen ein drahtloser Internetzugang per WLAN für die Anwohner angeboten wird, sowie auf der Computermesse CeBit in Hannover durchgeführt. Die höchsten gefundenen Spitzenmesswerte lagen im Bereich von 100 mW/m^2 . Über typische menschliche Körperdimensionen und zeitlich über 6 Minuten gemittelte Messwerte lagen um etwa einen Faktor 10 bis 100 unter den Spitzenmesswerten. Selbst die Spitzenwerte entsprechen lediglich 1 % des ICNIRP-Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung von 10 W/m^2 (Preiner et al. 2006, S. 1).

Der Bericht zog den Schluss, dass die allgemeine Bevölkerung durch die WLAN-Sendeanlagen sowie durch die Sender der WLAN-Nutzer an »Hotspots« nur einer geringen zusätzlichen HF-Exposition ausgesetzt ist. Es wurde darauf hingewiesen, dass eine Reduzierung der Exposition erreicht werden kann, wenn insbesondere die Access-Point-Antennen so platziert werden, dass eine unmittelbare Annäherung von Personen an die Sendantennen verhindert wird (Preiner et al. 2006, 66, 94, 102, 111, 118, 125, 133).

2.3.1.9 Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen

Ziel des Forschungsvorhabens »Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen« (Bornkessel et al. 2006b) war es, Mess- und Berechnungsverfahren zu entwickeln, mit denen die örtliche und zeitliche Verteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen ermittelt und so die tatsächliche Exposition von Personen im Umfeld dieser Anlagen bestimmt werden kann.

Es wurden elf Szenarien mit zusammen 163 Messpunkten untersucht. Der überwiegende Teil der Ergebnisse lag unter 1 % der Grenzwerte der



26. BImSchV für die Feldstärke bzw. die Leistungsflussdichte. Der maximal gemessene Wert war 8,4 %, der kleinste Messewert betrug 0,01 %. Raum- und zeitgemittelte Feldstärken waren um den Faktor 5 bis 8 kleiner als die zuvor angegebenen Werte (Bornkessel et al. 2006b, S.3).

Die größten Messwerte traten eher in kleinzelligen Szenarien auf, da dort aufgrund der meist niedrig montierten Antennen eine größere Annäherung an den Sender möglich ist, was trotz der in der Regel geringeren Sendeleistung zu vergleichsweise höheren Expositionswerten führte. Hingegen wurden bei hoch montierten Antennen, beispielsweise bei den Ultra High Sites (UHS), die niedrigsten Expositionen festgestellt (Bornkessel et al. 2006b, S.3). Allerdings muss dabei berücksichtigt werden, dass im Rahmen dieses Projektes keine Bewertung der unterschiedlichen Versorgungskonzepte bezüglich der jeweiligen Versorgungsgüte durchgeführt wurde (Bornkessel et al. 2006b, III.2). Ähnlich wie bei den GSM-Basisstationen zeigt sich besonders im unmittelbaren Umfeld der Sender, bis etwa 100 m, dass der bloße Abstand zur Anlage ein schlechtes Maß für eine Expositionseinschätzung ist. Sichtbedingungen sowie die Lage des jeweiligen Messpunktes zur Ausrichtung der Hauptkeule der Sendeantenne haben dagegen einen deutlichen Einfluss auf die Exposition (Bornkessel et al. 2006b, S.3).

An identischen Orten wurden ebenfalls GSM-Immissionen gemessen und mit den UMTS-Immissionen verglichen. In 85 % der Fälle waren die GSM-Immissionen bezogen auf die frequenzabhängigen Grenzwerte höher als die UMTS-Immissionen. Als Gründe werden (Bornkessel et al. 2006b, III.3) die häufig höhere Sendeleistung der GSM-Stationen, der gegenüber UMTS niedrigere Grenzwert insbesondere für GSM 900 und die bei den GSM-Stationen höhere Wahrscheinlichkeit, in die Hauptkeule einer Antenne, zu geraten, genannt. Während der höchste gemessene UMTSMesswert 8,4 % des Feldstärkegrenzwertes ausschöpfte, wurden bei GSM bis zu 12,8 % Ausschöpfung gemessen (Bornkessel et al. 2006b, III.30). Die Medianwerte lagen bei 0,72 % für UMTS und 1,75 % bei GSM.

2.3.1.10 Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk- und Fernsehsendern

Ziel des Vorhabens »Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk- und Fernsehsendern« (Bornkessel et al. 2006a) war es, mittels Rechnersimulationen und Messkampagnen die von Sendeanlagen des digitalen Rundfunks (DAB) und digitalen Fernsehens (DVB-T) verursachte Exposition der Bevölkerung zu quantifizieren.

Es konnte festgestellt werden, dass sich in den beiden untersuchten Gebieten um München und Nürnberg die Gesamtexposition durch analoges und digitales TV sowie Radio (hier aber nur UKW und DAB) durch die Umstellung auf DVB-T deutlich erhöht hat. Für den Bereich des Rundfunks überwiegen noch die von

der analogen UKW-Technologie herrührenden Expositionen gegenüber den durch die digitalen DAB-Signale verursachten Expositionen. Die höchsten und die niedrigsten Messwerte an insgesamt 300 Messpunkten unterschieden sich um mehr als einen Faktor 100.000. Maximal wurden etwa $30 \mu\text{W}/\text{m}^2$ gemessen. Selbst am Punkt mit dem höchsten Messwert wurden die Grenzwerte aber auch nach der Umstellung auf DVB-T um mehr als einen Faktor 400 unterschritten (Bornkessel et al. 2006a, S.248).

2.3.1.11 Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen

Ziel des Forschungsvorhabens »Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen« (Bornkessel und Schubert 2005) war es, Mess- und Berechnungsverfahren zu entwickeln, die geeignet sind, die Exposition von Personen im Umfeld von Mobilfunksendeanlagen zu ermitteln. Als Umfeld wurde der Bereich außerhalb des durch die RegTP (Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, seit 2005: Bundesnetzagentur) festgelegten Sicherheitsabstandes bis etwa 200 m Entfernung von der Sendeanlage verstanden.

Es wurden Werte der Leistungsflussdichte im Bereich von unter $1 \mu\text{W}/\text{m}^2$ bis zu einigen $100 \text{ mW}/\text{m}^2$ gefunden. Das Zusammenwirken von anlagenbezogenen und immissionsortbezogenen Faktoren, die Einfluss auf die Immissionswerte haben, wurde als sehr komplex bezeichnet und konstatiert, dass eine isolierte Betrachtung einzelner Faktoren (beispielsweise des Abstands zur Sendeanlage) in der Regel zu nicht gültigen Pauschalierungen führt (Bornkessel und Schubert 2005)¹⁵.

2.3.2 Forschungsvorhaben im Anschluss an das DMF

Nach Abschluss des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms wurden in Deutschland weitere Forschungsvorhaben durchgeführt, die – soweit sie für die hier relevanten Fragestellungen von Interesse sind – nachfolgend vorgestellt werden.

¹⁵ Zitiert wird hier aus der Zusammenfassung auf http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_015.html (28.9.2020)

2.3.2.1 Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken

Ziel des Forschungsvorhabens »Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken« (Bornkessel et al. 2013) war es, die Datenlage zur Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern um Informationen über die Beiträge neuer Funkdienste – z. B. 3.x/4G (LTE), digitaler BOS-Funk – zu verbessern. Aus den Ergebnissen des Vorhabens sollte abgeleitet werden, wie sich die tatsächliche Exposition der allgemeinen Bevölkerung in Deutschland durch den weiteren Ausbau der Telekommunikationsinfrastruktur ändert.

Es wurden elf Szenarien von LTE-Anlagen betrachtet und verglichen, die sich in der Art der Anbringung der Anlage (hoch, niedrig) sowie des Umfelds (städtisch, ländlich) unterschieden.

1. Niedrig montierte LTE-Anlage im städtischen Umfeld
2. Hoch montierte LTE-Anlage im städtischen Umfeld
3. LTE-Anlage auf einem Gebäudedach und Ermittlung der Immission im selben Gebäude (Dämpfungsverlauf)
4. LTE-Anlage auf einem Gebäudedach und Ermittlung der Immission im gegenüberliegenden Gebäude (Höhenabhängigkeit)
5. LTE-Anlage zur Indoorversorgung
6. Niedrig montierte LTE-Anlage im ländlichen Umfeld (Dachstandort am Ortsrand)
7. Niedrig montierte LTE-Anlage im ländlichen Umfeld (Dachstandort in Ortsmitte)
8. Sehr niedrig montierte LTE-Anlage im ländlichen Umfeld (Dachstandort im Wohngebiet)
9. Hoch montierte LTE-Anlage im ländlichen Umfeld (Maststandort in Ortsmitte)
10. Hoch montierte LTE-Anlage im ländlichen Umfeld (Maststandort am Ortsrand)
11. Hoch montierte LTE-Anlage im ländlichen Umfeld (Freistehender Maststandort)

Die in der Umgebung von Standorten mit LTE-Basisstationen gemessenen und auf maximale Anlagenauslastungen hochgerechneten LTE-Immissionen betrugen zwischen 0,002 % und 7,28 % (Medianwert 0,70 %) der Feldstärkegrenzwerte der 26. BImSchV. Die tatsächlich gemessenen Werte waren um einen Faktor 3,1 bis 17,2 niedriger als die auf maximale Anlagenauslastungen hochgerechneten Werte (Bornkessel et al. 2013, S.3). Die maximal gemessene Leistungsflussdichte betrug 30,436 mW/m² und trat im Szenario »sehr niedrig montierte LTE-

Anlage im ländlichen Umfeld (Dachstandort im Wohngebiet)« im Abstand 107 m von der LTE-Anlage auf (Bornkessel et al. 2013, S. 107).

Die in der Umgebung von Standorten mit TETRA-BOS-Basisstationen an 80 Messpunkten gemessenen und auf eine maximale Anlageauslastung hochgerechneten TETRA-BOS-Immissionen betrugen zwischen 0,03 % und 4,63 % (Medianwert 0,46 %) der Feldstärkegrenzwerte der 26. BImSchV. Die tatsächlich gemessenen Werte waren um einen Faktor 2,1 bis 4,4 niedriger als die auf maximale Anlagenauslastungen hochgerechneten Werte (Bornkessel et al. 2013, S. 6).

An allen untersuchten LTE- und an einigen der TETRA-BOS-Standorte waren auch GSM- und UMTS-Mobilfunksendeanlagen installiert. Sowohl Größenordnung als auch örtliche Verteilungsmuster der LTE- und TETRA-BOS-Immissionen haben sich als vergleichbar mit den entsprechenden Daten für GSM und UMTS herausgestellt. Die Ertüchtigung der untersuchten Standorte mit LTE führte im Mittel zu einem Anstieg der Immissionen um 37 %, die Ertüchtigung mit TETRA-BOS zu einem Anstieg um 47 %. Für TETRA-BOS-Standorte in Städten wurden höhere Zuwächse festgestellt als für Standorte in ländlichen Gebieten, was unter anderem auf die in Städten größere Zahl installierter TETRA-BOS-Funkkanäle zurückgeführt wird (Bornkessel et al. 2013, S. 6).

An mehreren Messpunkten wurde zusätzlich zur LTE- oder TETRA-BOS-Immission die gesamte Hochfrequenzimmission im Frequenzbereich von 100 kHz bis 3 GHz bestimmt. Danach trugen die LTE-Immissionen im Mittel 22 % und die TETRA-BOS-Immissionen im Mittel 30 % zur gesamten Leistungsflussdichte bei. Diese Angaben sind vor allem für die unmittelbare Umgebung der untersuchten Anlagen repräsentativ und sollten nicht als eine flächen- oder bevölkerungsgemittelte Immissionszunahme interpretiert werden (Bornkessel et al. 2013, S. 6).

Die Umwidmung vormals für die terrestrische Ausstrahlung von Hörfunk- und Fernsehprogrammen reservierter Bereiche des Funkspektrums für Mobilfunkanwendungen (Digitale Dividende) kann in dem betroffenen Frequenzbereich den Ergebnissen zufolge zu leicht erhöhten Immissionen führen. Im Mittel ergab sich bei angenommener Vollausslastung der Mobilfunksender ein Anstieg der Immissionen von etwa 40 % bezogen auf die Leistungsflussdichte. Besonders bei geringer Auslastung der Mobilfunkzellen zu Zeiten mit niedrigem Datenverkehrsaufkommen kann sich aber auch eine Verringerung der Immissionen bezogen auf den Zustand vor der Umwidmung ergeben (Bornkessel et al. 2013, S. 5).

Für den Betrieb eines LTE-Surfsticks im Abstand von 25 mm zum Körper und eines LTE-Routers (in direktem Körperkontakt, entgegen der üblichen Betriebsweise) wurden SAR-Werte von 0,28 W/kg bzw. 0,75 W/kg ermittelt. Im Vergleich dazu lagen Surfsticks bei den Betriebsarten GSM-900 (GPRS-900), GSM-1800 (GPRS-1800) und UMTS (WCDMA) mit maximal 0,27 W/kg in vergleichbarer Größenordnung (Bornkessel et al. 2013, S. 6).



Femtozellen mit auf einen oder wenige Räume innerhalb eines Gebäudes beschränkten Versorgungsbereichen sollen die Mobilfunkversorgung in Gebäuden verbessern und Kapazitätsengpässe in den Mobilfunknetzen vermeiden helfen. Untersuchungen in vier UMTS-Femtozellen ergaben nur geringe Unterschiede zu den Immissionen der im Umfeld ebenfalls betriebenen WLAN- und DECT-Systeme (Bornkessel et al. 2013, S.5).

Als Fazit ergaben die Untersuchungen, dass mit den Basisstationen der neuen Mobilfunktechniken LTE und TETRA-BOS eine Immissionszunahme verbunden ist, die Gesamtimmission durch ortsfeste Mobilfunksendeanlagen sich in den für die Bevölkerung zugänglichen Bereichen aber auch im näheren Umfeld von Basisstationsstandorten nach wie vor auf niedrigem Niveau bewegt und an keinem der untersuchten Messpunkte die Grenzwerte der 26. BImSchV erreicht wurden. Die Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern wird dementsprechend weiterhin hauptsächlich durch körpernah betriebene Sender wie Handy und Smartphone bestimmt.

2.3.2.2 Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Bestimmung der Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung mit Frequenzen im Terahertzbereich

Mögliche Anwendungen von Geräten mit Strahlung im Terahertzbereich sind zum Beispiel Körperscanner für Sicherheitskontrollen, bildgebende diagnostische Verfahren in der Medizin, zerstörungsfreie Materialprüfungen und drahtlose Datenübertragungen im Nahbereich. Das Forschungsvorhaben (Spathmann et al. 2014) sollte zur Entwicklung von Verfahren zur Bestimmung der Exposition von Personen gegenüber Terahertzstrahlung beitragen.

Es wurden für die Expositionsbestimmung mittels numerischer Dosimetrie detaillierte Modelle der menschlichen Haut und des Auges sowie Feld-Anregungsmodelle erstellt. Zur Expositionsbewertung wurden – ausgehend von der SAR – die expositionsbedingten Temperaturanstiege ermittelt. Als Ergebnisse liegen für einfallende Leistungsflussdichten zwischen $0,1 \text{ W/m}^2$ und 100 W/m^2 und für einen Frequenzbereich von $0,1 \text{ THz}$ bis 10 THz Daten über in der Haut und im Auge zu erwartende Feldstärken und SAR-Werte sowie über die mit der Wärmetransportgleichung davon abgeleiteten zu erwartenden Temperaturerhöhungen in den oberflächennahen Körpergeweben vor.

2.3.2.3 Bestimmung von SAR-Werten bei der Verwendung von Headsets für Mobilfunktelefone

Im Forschungsvorhaben (Kühn et al. 2008) sollten kabelgebundene und draht- bzw. kabellose Headsets insbesondere hinsichtlich der im Kopf eines Nutzers hervorgerufenen maximalen über 10 g gemittelten SAR-Werte verglichen wer-

den. Auch der Einfluss, den das Kabel eines kabelgebundenen Headsets auf die SAR-Werte im Rumpf des Nutzers hat, sollte analysiert werden.

Im Forschungsvorhaben wurden SAR-Werte in verschiedenen Konfigurationen messtechnisch in homogenen Körperphantomen (SAM-Kopf-, Flach-, Unterdruckphantom, iSAR-Messsystem) sowie rechentechnisch in zwei verschiedenen hochaufgelösten, anatomischen Ganzkörpermodellen bestimmt. Messtechnisch wurden zwei unterschiedliche Mobiltelefone (Klapphandy mit externer Stummelantenne und Barrenhandy mit integrierter Antenne), drei kabelgebundene und drei kabellose Headsets untersucht. Numerisch wurden ein Mobiltelefon und ein kabelgebundenes Headset analysiert. Am Rumpf wurden dabei unterschiedliche Abstände der Telefone von der Körperoberfläche sowie verschiedene Orientierungen zum Körper (Vorder-/Rückseite des Telefons zum Körper ausgerichtet) berücksichtigt, während am Kopf die aus den Typprüfungen bekannten Standardpositionen »touch« und »tilt« gewählt wurden. Alle Untersuchungen wurden für Sprachtelefonie (keine Datenübertragungsmodi) in den Systemen GSM 900, GSM 1800 und UMTS 1950 durchgeführt.

Es wurde festgestellt, dass die SAR-Werte bei der Nutzung der kabellosen Headsets sehr gering sind. Beinahe alle Einzelmesswerte lagen unter der Empfindlichkeitsgrenze des Messsystems, gemittelt über 10 g lagen sie bei $< 0,005 \text{ W/kg}$. Bei kabelgebundenen Headsets werden messbare SAR-Werte entlang des Kabels im Rumpf und Kopf des Nutzers hervorgerufen. Die über 10 g gemittelten SAR-Werte im Kopf sind dabei bei Headsets mit zwei Ohrhörern im Vergleich zu einem Gerät mit nur einem Ohrhörer geringer. In keinem der untersuchten GSM 900-Szenarien ergab sich im Kopfbereich für den Gebrauch eines kabelgebundenen Headsets ein höherer über 10 g gemittelter SAR-Wert als beim direkten Betrieb des Telefons am Kopf bzw. Ohr eines Nutzers. Bei UMTS- und besonders im GSM 1800-Band traten hingegen in Fällen, in denen das Headset-Kabel nicht in einem geringen Abstand entlang des Körperrumpfes geführt wurde, Erhöhungen der maximalen über 10 g gemittelten SAR-Werte im Kopfbereich um bis zu einem Faktor 2,5 auf, verglichen mit dem Betrieb direkt am Ohr bzw. Kopf. Bei einem nahe am Körperrumpf entlang geführten Kabel ergaben sich Reduktionen der maximalen über 10 g gemittelten SAR-Werte im Kopfbereich. Je nach Kombination Handy/Headset und je nach konkretem Kabelverlauf wurden Reduktionsfaktoren zwischen 1,2 und 372 gemessen. Für das GSM 900-Band lagen die Werte zwischen 2,8 und 251.

Der insgesamt höchste in (Kühn et al. 2008) gemessene über 10 g gemittelte SAR-Wert im Bereich der Ohrhörer betrug $0,33 \text{ W/kg}$. Die numerischen Untersuchungen, mit denen maximal $0,37 \text{ W/kg}$ ermittelt wurden, bestätigten die Größenordnung. Des Weiteren wurde der Betrieb eines Mobiltelefons am Körperrumpf simuliert. In Abhängigkeit von der Orientierung des Telefons zur Körper- bzw. Phantomoberfläche ergaben sich deutliche Unterschiede in den SAR-Werten. Der insgesamt höchste über 10 g gemittelte SAR-Wert betrug $3,2 \text{ W/kg}$.



und wurde für den simulierten Betrieb eines Mobiltelefons mit der Rückseite zum Körper bestimmt. Durch den Anschluss eines Headsets an ein am Rumpf betriebenes Mobiltelefon veränderten sich die maximalen über 10 g gemittelten SAR-Werte im Rumpf verglichen mit der Nutzung ohne Headset in den meisten Fällen nur wenig. Wenn die Telefone mit der Rückseite zum Körper betrieben wurden, verringerten sich die maximalen über 10 g gemittelten SAR-Werte durch den Anschluss des Headsets tendenziell etwas, ansonsten erhöhten sie sich durch den Anschluss eher leicht.

2.3.3 Weitere Untersuchungen zur Exposition

In (Dürrenberger und Klaus 2004) wurden die elektromagnetischen Felder von Energiesparlampen mit einigen weiteren Quellen im Alltag verglichen. Die resultierenden Daten zeigt Tabelle 2.14. Auf Messungen im Frequenzbereich zwischen 50 Hz und 10 kHz wurde verzichtet, da eine genauere frequenzselektive Analyse gezeigt hatte, dass die in diesem Frequenzbereich vorhandenen Signale gegenüber den ausgewerteten Signalen bei 50 Hz bzw. bei der Betriebsfrequenz (einschließlich der Oberwellen) vernachlässigt werden können.

Tab. 2.14 Flussdichten und elektrische Feldstärken bei Lampen und weiteren Geräten

Gerät	Abstand in cm	magnetische Flussdichte (nT)		elektrische Feldstärke (V/m)	
		50 Hz	10 kHz– 500 kHz	50 Hz	10 kHz– 500 kHz
Glühlampe	30	ca. 10	0	ca. 6,5	0
Energiesparlampe	30	ca. 10	ca. 14	ca. 8,5	ca. 0,2
Halogenlampe mit elektronischem Trafo	30	ca. 10	ca. 11	ca. 0,5	ca. 0,15
Halogenlampe mit konventionellem Trafo	30	ca. 25	0	ca. 6	0
Fernseher (konventionell)	100	ca. 45	ca. 10	ca. 3	ca. 0,4
Fernseher (Flachbildschirm)	100	ca. 30	ca. 1	ca. 3	ca. 0,05
Radiowecker	30	ca. 75	0	ca. 7,5	0

Kaffeemaschine (Standby)	30	ca. 160	0	ca. 0,5	0
Kaffeemaschine (Betrieb)	30	ca. 3.500	0	keine Angabe	0

Quelle: (Dürrenberger und Klaus 2004)

2.4 Untersuchung ausgewählter Expositionsszenarien

Auf der Basis der Ergebnisse der Untersuchungen zu möglichen Feldquellen in Kapitel 2.1 wurden für diesen TAB-Bericht vom Öko-Institut typische Expositionsszenarien definiert, die verschiedene räumliche Bereiche und verschiedene Stufen der Intensität der Nutzung EMF-emittierender Quellen abdecken sollen (Gröger et al. 2017). Verschiedene räumliche Bereiche wurden dabei betrachtet:

- > Wohnbereich, insbesondere mit EMF von Geräten, die der Unterhaltung und Kommunikation dienen (Kap. 2.4.1.1);
- > häuslicher Arbeitsbereich, insbesondere mit EMF von Geräten, die der Kommunikation, Datenübertragung und Datenverarbeitung etc. dienen (Kap. 2.4.1.2);
- > häuslicher Küchenbereich, insbesondere mit EMF durch Mikrowellenherd, verschiedene Elektrokleingeräte etc. (Kap. 2.4.1.3);
- > öffentlicher Raum, insbesondere mit EMF der Datenübertragung und des Mobilfunks (Kap. 2.4.1.4);
- > öffentlicher Raum im Bereich der Anwendung von induktivem Laden für die E-Mobilität, auch bei Überlagerung mit EMF-Quellen der Datenübertragung und des Mobilfunks (Kap. 2.4.1.5).

Hinsichtlich der Intensität der Nutzung EMF-emittierender Quellen wurden jeweils zwei Fälle unterschieden:

1. Es stehen alle Geräte und Techniken zur Verfügung, die für eine Funktionalität auf hohem Niveau erforderlich sind. Bei der Wahl der angenommenen elektrischen Feldstärken, magnetischen Flussdichten, Leistungsflussdichten und SAR-Werte wird von ungünstigen Eigenschaften der HF-Quellen ausgegangen. Dieser Fall soll für eine relativ hoch exponierte Gruppe repräsentativ sein.
2. Es werden über den Fall a) hinaus Geräte und Techniken mehrfach genutzt bzw. es sind verschiedene Geräte und Techniken mit gleicher Funktionalität in Gebrauch. Dieses Szenario soll den Worst Case repräsentieren.

Bei der Bewertung der Expositionen als Summe der verschiedenen Quellen werden zum Vergleich die Grenzwerte der 26. BImSchV, erforderlichenfalls ergänzt

durch die Referenzwerte der Empfehlung des Rates 1999/519/EG herangezogen. Es soll auf diese Weise beurteilt werden, ob ein ausreichend sicherer Abstand zu diesen Grenzwerten besteht. Soweit möglich, werden für diesen Vergleich SAR-Werte herangezogen, wo dies nach derzeitigem Kenntnisstand nicht möglich ist, die Leistungsflussdichte, die elektrische Feldstärke oder die magnetische Flussdichte.

2.4.1 Expositionsszenarien

Bei den nachfolgenden Expositionsabschätzungen wird auf die in Kapitel 2.3 dargestellte Literatur zurückgegriffen. Die dort genannten Ergebnisse werden erforderlichenfalls auf der Basis der in Kapitel 2.1 dargestellten Daten von Feldquellen angepasst. Für die entsprechenden Umrechnungen kann aufgrund der betrachteten Abstände und der Frequenzbereiche in der Regel von Fernmeldeeigenschaften ausgegangen werden. Als einheitlicher Maßstab zur Bewertung der Expositionen werden die Leistungsflussdichte für entfernte Quellen und die SAR für sehr körpernahe Quellen herangezogen.

2.4.1.1 Expositionsszenario »Wohnbereich«

Für das Szenario einer intensiven Nutzung von Geräten im Expositionsszenario »Wohnbereich« mit Abstrahlung hochfrequenter elektromagnetischer Felder wird eine Person betrachtet, die sich im Wohnbereich aufhält, beispielsweise fernsieht oder Radio hört, und dabei einen Funkkopfhörer benutzt. Im gleichen Raum befinden sich eine DECT-Basisstation, über die eine andere Person telefoniert, sowie zwei Smarthomesender. Im Nebenraum befindet sich ein Kinderbett mit Babyphon.

Im gleichen Raum könnten auch induktive Ladegeräte in Betrieb sein. Untersuchungen von Zahner et al. (2017) haben aber ergeben, dass solche Geräte nur in unmittelbarer Nähe (Größenordnung bis 1 cm Abstand) wesentlich zur Exposition beitragen können. Solche Geräte werden daher nicht eigens in das Expositionsszenario einbezogen. Für das Expositionsszenario »Wohnbereich« werden die folgenden Geräte, Abstände und Eigenschaften angenommen:

- Ein Funkkopfhörer befindet sich in Betrieb, wobei die Sendestation einen Abstand von 1 m von der exponierten Person hat. Die Sendeleistungen betragen bis zu 10 mW, der Kopfhörer selbst ist nur Empfangsgerät. Die Frequenz der Geräte beträgt üblicherweise 864 MHz. Messungen von Schmid et al. (2005) ergaben unter diesen Annahmen maximal 0,35 V/m in 1 m Abstand (Kap. 2.3.1.1). Für diesen Fall ergab sich eine Leistungsflussdichte von $2,5 \mu\text{W}/\text{m}^2$.
- Eine DECT-Basisstation befindet sich in 1 m Abstand von der exponierten Person und wird für ein Telefonat einer anderen Person genutzt. Die maxi-

malen Sendeleistungen der Geräte betragen 250 mW, die mittleren Sendeleistungen 20 mW. In 1 m Abstand bei maximaler Sendeleistung (Frequenz 1.880 MHz bis 1.900 MHz) wurde eine elektrische Feldstärke von bis zu 3,6 V/m gemessen. Daraus ergab sich eine Leistungsflussdichte von 540 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (Schmid et al. 2005). Aktuelle Geräte weisen bei einer maximalen Sendeleistung von 250 mW während Gesprächen eine mittlere Sendeleistung von 10 mW auf (Kap. 2.2). Daher wird in 1 m Abstand von einer elektrischen Feldstärke von 0,15 V/m und einer Leistungsflussdichte von 20 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ausgegangen.

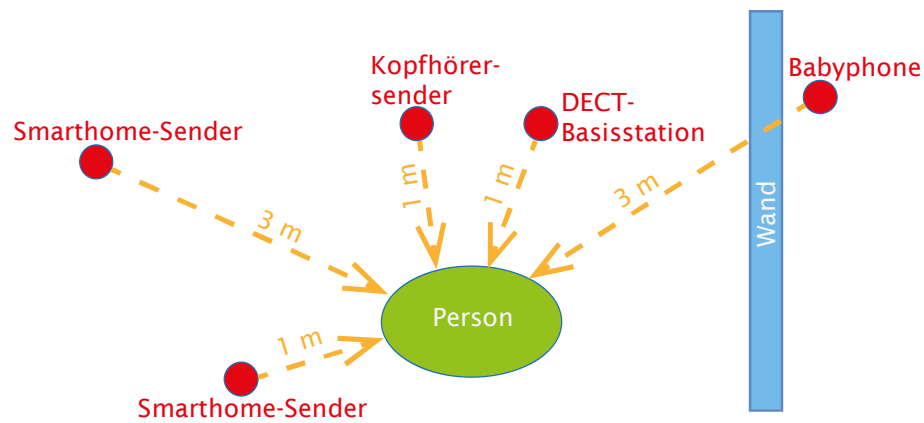
- > Je ein Smarthomesender befindet sich in 1 m und in 3 m Abstand. Beide arbeiten bei einer Frequenz von 868 MHz mit einer maximalen Sendeleistung von 25 mW und einer mittleren Sendeleistung von 1 mW. Wegen der annähernd gleichen Frequenz kann hier auf die bereits dargestellten Messergebnisse an Sendestationen von Funkkopfhörern Bezug genommen werden. Bei gleichem Abstrahlverhalten ergeben sich dann in 1 m Abstand eine elektrische Feldstärke von 0,88 V/m und eine Leistungsflussdichte von 6,3 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ bei maximaler Sendeleistung. Bei mittlerer Sendeleistung beträgt die elektrische Feldstärke 0,035 V/m und die Leistungsflussdichte 0,25 $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Im Abstand 3 m ergeben sich 0,25 V/m und 1,8 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (maximale Sendeleistung) bzw. 0,01 V/m und 0,07 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (mittlere Sendeleistung).
- > Im Nebenraum wird im Abstand von etwa 3 m ein Babyphon der Frequenz 27 MHz mit einer Sendeleistung von 50 mW betrieben. Analog den Analysen von Schmid et al. (2005) soll sich auch hier das Babyphon im Kinderbett befinden, unmittelbar an der Wand des Nebenraums. Als Wand wird eine Trockenbaukonstruktion mit maximaler HF-Durchlässigkeit angenommen worden. Die Simulation in Schmid et al. (2005) ergab für diesen Fall bei einer dort angenommenen Frequenz von 446 MHz und einer Leistung von 20 mW eine Leistungsflussdichte von 0,32 mW/m². Wegen der hier angenommenen höheren Sendeleistung (50 mW) wird für das Expositionsszenario »Wohnbereich« entsprechend von einer höheren Leistungsflussdichte (0,8 mW/m²) ausgegangen.

In Abbildung 2.11 ist das Expositionsszenario »Wohnbereich« mit seinen Quellen von HF-Strahlung schematisch dargestellt.

In Tabelle 2.15 sind die Leistungsflussdichten, die sich aus den vorliegenden Untersuchungen ableiten lassen, für die Quellen des Expositionsszenarios »Wohnbereich« zusammengefasst. In der Summe der in Tabelle 2.15 angegebenen Expositionen der verschiedenen Quellen ergibt sich eine Grenzwertausschöpfung von 0,036% für die Leistungsflussdichte.¹⁶ Die Daten der Tabelle 2.15 sind in Abbildung 2.12 grafisch dargestellt. Die prozentuale Grenzwertausschöpfung wird deutlich durch das Babyphon dominiert.

¹⁶ Die Addition erfolgte nach den Regeln in ICNIRP 1998, 513 f.

Abb. 2.11 Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »Wohnbereich«



Quelle: nach Gröger et al. 2017, S. 71

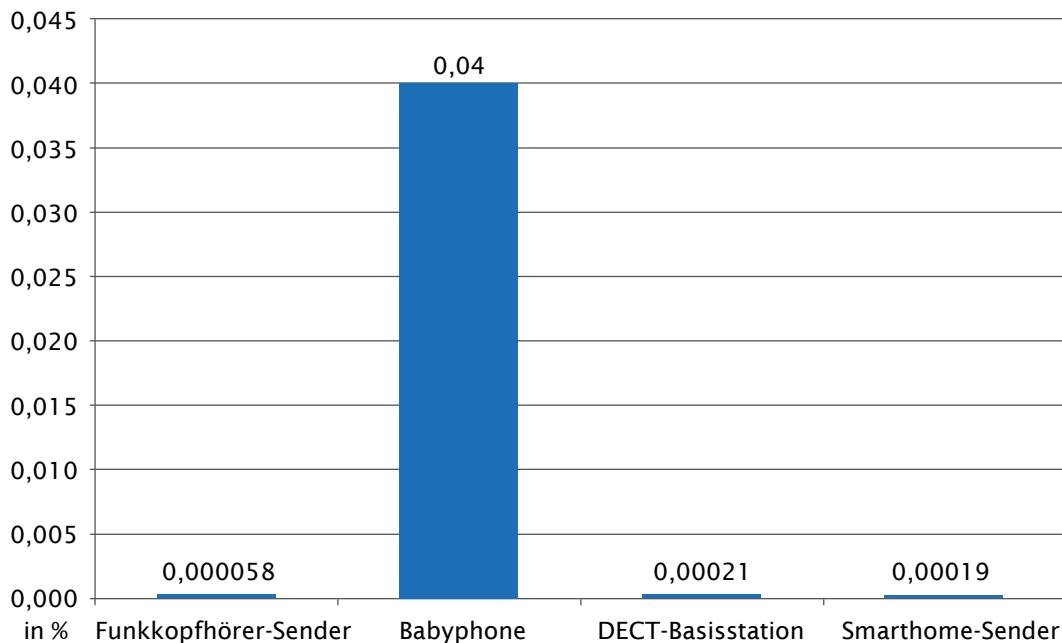
Tab. 2.15 Magnetische Flussdichten, elektrische Feldstärken und Leistungsflussdichten im Expositionsszenario »Wohnbereich«

Quelle	Leistungsflussdichte (W/m²)	
	Wert im Szenario	Grenzwert*
Funkkopfhörer	2,5	$4,32 \cdot 10^6$
Babyphon	800	$2 \cdot 10^6$
DECT-Basisstation	20	$9,45 \cdot 10^6$
Smarthome	8,1	$4,34 \cdot 10^6$
Grenzwertausschöpfung durch die Quellen insgesamt	0,036 %	

* Referenzwerte aus der Empfehlung des Rates 1999/519/EG, die mit denen der ICNIRP (1998) übereinstimmen.

Quelle: Gröger et al. 2017, S. 72

Abb. 2.12 Prozentuale Grenzwertausschöpfung durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »Wohnbereich«



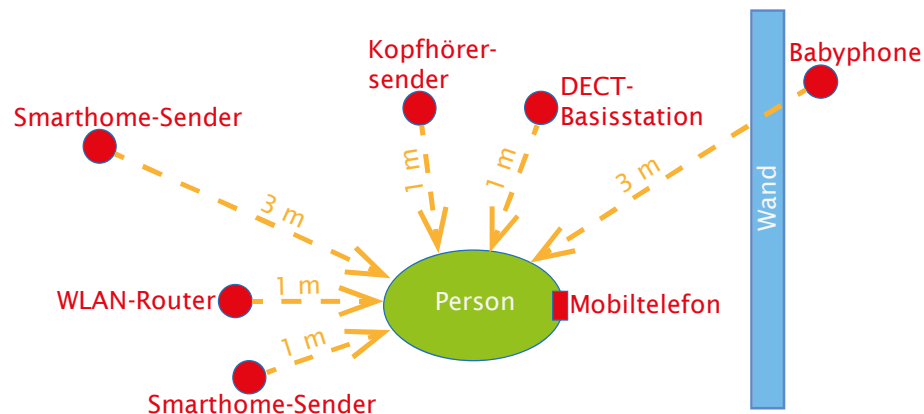
Quelle: nach Gröger et al. 2017, S. 73

Für das Worst-Case-Szenario des Expositionsszenarios »Wohnbereich« wird zusätzlich zum vorangehend dargestellten Expositionsszenario unterstellt, dass die betrachtete Person zeitgleich ein Gespräch über ein Mobiltelefon führt. Außerdem soll sich im gleichen Raum ein WLAN-Access Point befinden. Für das Worst-Case-Szenario werden daher zusätzlich die folgenden Quellen einbezogen bzw. die folgenden höheren Leistungen angenommen:

- > Die exponierte Person führt ein Gespräch über ein Mobiltelefon. Das BfS stellt auf seiner Homepage die maximalen SAR-Werte (Herstellerangaben) bei der Nutzung am Ohr von über 2.500 Mobiltelefonmodellen zur Verfügung (Stand 2017) (BfS 2017b). Für dieses Szenario wird der SAR-Wert eines Geräts zugrunde gelegt, das schlechter ist als bei 95 % aller gelisteten Geräte (1,28 W/kg). Bei der Nutzung eines DECT-Telefons wäre von einer geringeren Exposition auszugehen, sodass dessen Nutzung durch das Szenario mit abgedeckt ist.
- > Ein WLAN-Router ist in 1 m Abstand im Downloadbetrieb. Für diese Quelle werden die berechneten Werte von Schmid et al. (2005) verwendet, aber umgerechnet auf die maximale mittlere Sendeleistung von 17 mW.

In Abbildung 2.13 ist das Expositionsszenario »Wohnbereich – Worst Case« mit seinen Quellen von HF-Strahlung schematisch dargestellt.

Abb. 2.13 Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »Wohnbereich – Worst Case«



Quelle: nach Gröger et al. 2017, S. 74

Die Leistungsflussdichten sowie im Fall des Mobiltelefons die SAR, die sich aus den vorliegenden Untersuchungen ableiten lassen, sind für die Quellen des Expositionsszenarios »Wohnbereich – Worst Case« in Tabelle 2.16 zusammengefasst und in Abbildung 2.14 grafisch dargestellt.

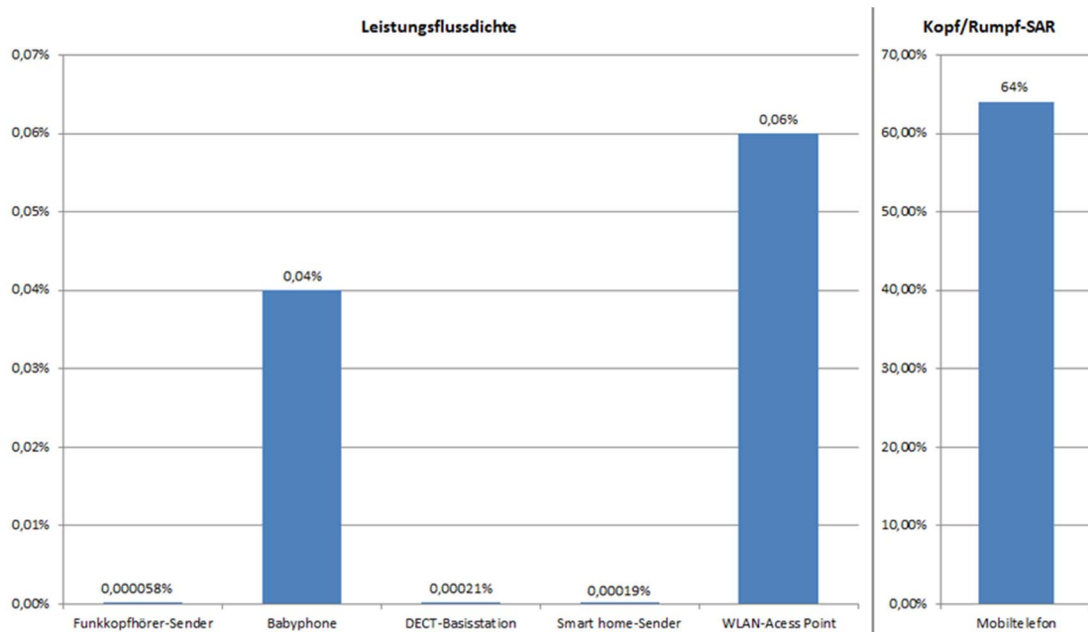
Tab. 2.16 Leistungsflussdichten und SAR-Werte im Expositionsszenario »Wohnbereich – Worst Case«

Quelle	Leistungsflussdichte ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)		spezifische Absorptionsrate (Kopf/Rumpf) (W/kg)	
	Wert im Szenario	Grenzwert	Wert im Szenario	Grenzwert
Funkkopfhörer	2,5	$4,32 \cdot 10^6$	–	–
Babyphon	800	$2 \cdot 10^6$	–	–
DECT-Basisstation	20	$9,45 \cdot 10^6$	–	–
Smarthome	8,1	$4,34 \cdot 10^6$	–	–
WLAN-Router	6.000	$10 \cdot 10^6$	–	–
Mobiltelefon	–	–	1,28	2
Grenzwertausschöpfung durch die Quellen insgesamt	0,01 %		64 %	

* Referenzwerte aus der Empfehlung des Rates 1999/519/EG, die mit denen der ICNIRP (1998) übereinstimmen.

Quelle: Gröger et al. 2017, S. 75

Abb. 2.14 Prozentuale Grenzwertausschöpfung durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »Wohnbereich – Worst Case«



Quelle: Gröger et al. 2017, S. 76

In der Summe der in Tabelle 2.16 angegebenen Expositionen der verschiedenen Quellen ergibt sich eine Grenzwertausschöpfung von 0,10% für die Leistungsflussdichte und von 64% für die SAR im Kopf. Die prozentuale Grenzwertausschöpfung wird in diesem Expositionsszenario deutlich durch das am Ohr genutzte Mobiltelefon dominiert.

2.4.1.2 Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich«

Für das Szenario einer intensiven Nutzung von Geräten mit Abstrahlung hochfrequenter elektromagnetischer Felder im Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich« wird eine Person betrachtet, die an einem Notebook arbeitet und dabei WLAN nutzt. Das Notebook soll dabei mit einer drahtlosen Maus und einer drahtlosen Tastatur bedient werden. Im häuslichen Arbeitszimmer befindet sich eine DECT-Basisstation, über die eine andere Person telefoniert. Es befinden sich zwei Smarthomesender im gleichen Raum. Ebenfalls im gleichen Raum könnten auch induktive Ladegeräte in Betrieb sein, die aber aus den bereits zuvor genannten Gründen nicht eigens in das Expositionsszenario einbezogen werden.

Für das Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich« werden die folgenden Geräte, Abstände und Eigenschaften angenommen:

- > Für das Notebook und den WLAN-Zugang werden Ergebnisse der Untersuchung der Leistungsflussdichte von Schmid et al. (2005) herangezogen. Für

einen WLAN-Router mit einer Leistung von 50 mW wurde dort im Downloadbetrieb bei einer Frequenz von 2.462 MHz eine Leistungsflussdichte von 1,79 mW/m² simuliert, für das Notebook mit Leistung von 16 mW im Downloadbetrieb eine Leistungsflussdichte von 4 µW/m². Wir gehen für das Szenario von einer Leistung des WLAN-Routers von 17 mW aus, woraus sich eine Leistungsflussdichte von 600 µW/m² ergibt.

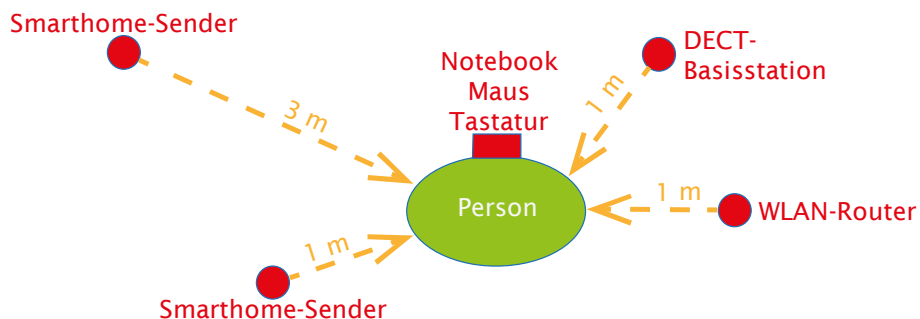
- > SAR-Werte wurden in von Hansen et al. (2007b) für verschiedene Arten der Nutzung eines Notebooks und verschiedene Positionen des WLAN-Routers bestimmt (Kap. 2.3.1.7). Die höchsten SAR-Werte für die sitzende erwachsene Person am Schreibtisch betrugen, hier umgerechnet auf eine Leistung von 16 mW, 19 µW/kg (Ganzkörper), 860 µW/kg (Kopf/Rumpf) und 2.300 µW/kg (Gliedermaßen). Für einen an der Wand neben der exponierten Person in Höhe des Kopfes angebrachten WLAN-Router betrugen die SAR-Werte, hier umgerechnet auf eine Leistung von 17 mW, 1,5 µW/kg (Ganzkörper), 3.000 µW/kg (Kopf/Rumpf) und 37 µW/kg (Gliedermaßen).
- > Für die Nutzung einer drahtlosen Maus und einer drahtlosen Tastatur im Frequenzbereich von 27 MHz bis 40 MHz wurden von Kühn et al. (2005) elektrische Feldstärken gemessen und SAR-Werte bestimmt. Die elektrische Feldstärke betrug sowohl bei der Maus als auch bei der Tastatur in 10 cm Abstand 1,5 V/m, an den Fingern der exponierten Person, maximal 6,5 V/m (Daumen) (Kühn et al. 2005, S.20). Der maximale SAR-Wert betrug für beide Arten von Geräten < 5 mW/kg (Grenze des Messbereichs) (Kühn et al. 2005, S.25).
- > Eine DECT-Basisstation befindet sich in 1 m Abstand von der exponierten Person und wird für ein Telefonat einer anderen Person genutzt. Wie im Expositionsszenario »Wohnbereich« wird von einer Leistungsflussdichte von 210 µW/m² ausgegangen.
- > In 1 m Abstand und in 3 m Abstand befindet sich je ein Smarthomesender, der bei einer Frequenz von 868 MHz mit einer maximalen Sendeleistung von 25 mW und einer mittleren Sendeleistung von 1 mW arbeitet. Wie im Expositionsszenario »Wohnbereich« wird von einer Leistungsflussdichte von zusammen 8,1 µW/m² ausgegangen.

In Abbildung 2.15 ist das Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich« mit seinen Quellen von HF-Strahlung schematisch dargestellt.

In Tabelle 2.17 sind die Leistungsflussdichten und SAR-Werte, die sich aus den vorliegenden Untersuchungen ableiten lassen, für die Quellen des Expositionsszenarios »häuslicher Arbeitsbereich« zusammengefasst.

Die prozentuale Grenzwertausschöpfung ist für die einzelnen Quellen in Abbildung 2.16 grafisch darstellt. Die prozentuale Grenzwertausschöpfung rührt bei der Leistungsflussdichte vor allem vom WLAN-Router und der DECT-Basisstation her. Bei der Kopf/Rumpf-SAR dominiert der WLAN-Router.

Abb. 2.15 Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich«



Quelle: nach Gröger et al. 2017, S. 78

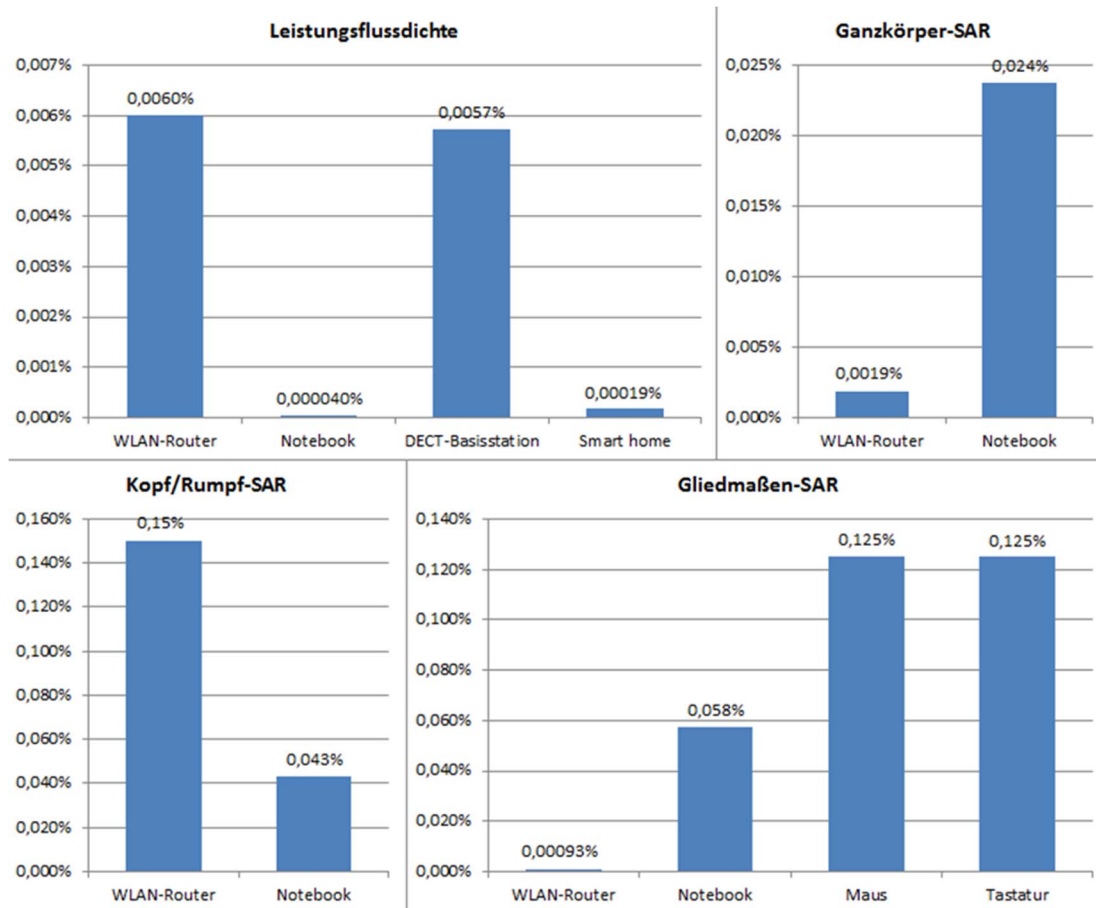
Tab. 2.17 Leistungsflussdichten und SAR-Werte im Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich«

Quelle	Leistungsflussdichte ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)		SAR ($\mu\text{W}/\text{kg}$)	
	Wert im Szenario	Grenzwert*	Wert im Szenario	Grenzwert*
WLAN-Router	600	$10 \cdot 10^6$	1,5 (Gk) 3.000 (KR) 37 (Gl)	$0,08 \cdot 10^6$ $2 \cdot 10^6$ $4 \cdot 10^6$
Notebook	4	$10 \cdot 10^6$	19 (Gk) 860 (KR) 2.300 (Gl)	$0,08 \cdot 10^6$ $2 \cdot 10^6$ $4 \cdot 10^6$
Maus	–	–	< 5.000 (Gl)	$4 \cdot 10^6$
Tastatur	–	–	< 5.000 (Gl)	$4 \cdot 10^6$
DECT-Basisstation	540	$9,45 \cdot 10^6$	–	–
Smarthome	8,1	$4,34 \cdot 10^6$	–	–
Grenzwertausschöpfung durch die Quellen insgesamt		0,012 %	0,026 % (Gk) 0,19 % (KR) 0,31 % (Gl)	

* Referenzwerte aus der Empfehlung des Rates 1999/519/EG, die mit denen der ICNIRP (1998) übereinstimmen.
Gk: Ganzkörper, KR: Kopf/Rumpf, Gl: Gliedmaßen

Quelle: Gröger et al. 2017, S. 79

Abb. 2.16 Prozentuale Grenzwertausschöpfungen durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich«



Quelle: Gröger et al. 2017, S. 80

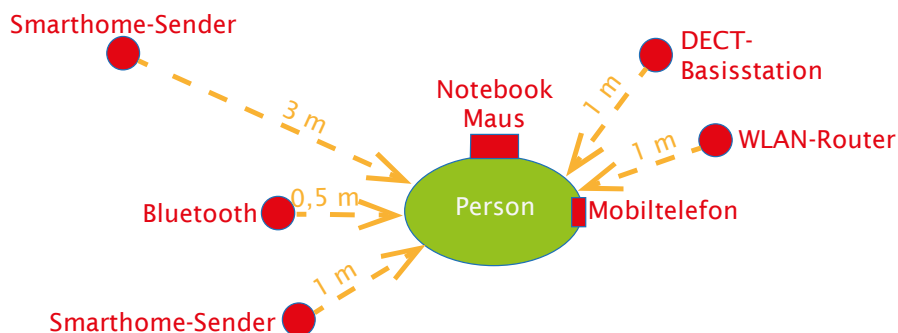
Im Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich – Worst Case« wird hier zusätzlich von folgenden Quellen hochfrequenter Felder ausgegangen:

- › Nutzung von Bluetooth (Frequenz 2.400 MHz, mittlere Sendeleistung 1 mW; Kap. 2.1.4), wobei sich der Sender in 0,5 m Abstand von der exponierten Person befinden soll. Die Expositionsdaten werden hier, angepasst auf Leistung und Abstand, aus denen des WLAN abgeleitet.
- › Die exponierte Person führt ein Telefonat über ein Mobiltelefon (Exposition wie im Expositionsszenario »Wohnbereich – Worst Case«). Da sie dies am Ohr halten soll, benutzt sie zeitgleich nur die Maus.

In Abbildung 2.17 ist das Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich – Worst Case« mit seinen Quellen von HF-Strahlung schematisch dargestellt.

In Tabelle 2.18 sind die Leistungsflussdichten und SAR-Werte, die sich aus den vorliegenden Untersuchungen ableiten lassen, für die Quellen des Expositionsszenarios »häuslicher Arbeitsbereich – Worst Case« zusammengefasst.

Abb. 2.17 Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich – Worst Case«



Quelle: nach Gröger et al. 2017, S. 81

Tab. 2.18 Leistungsflussdichten und SAR-Werte im Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich – Worst Case«

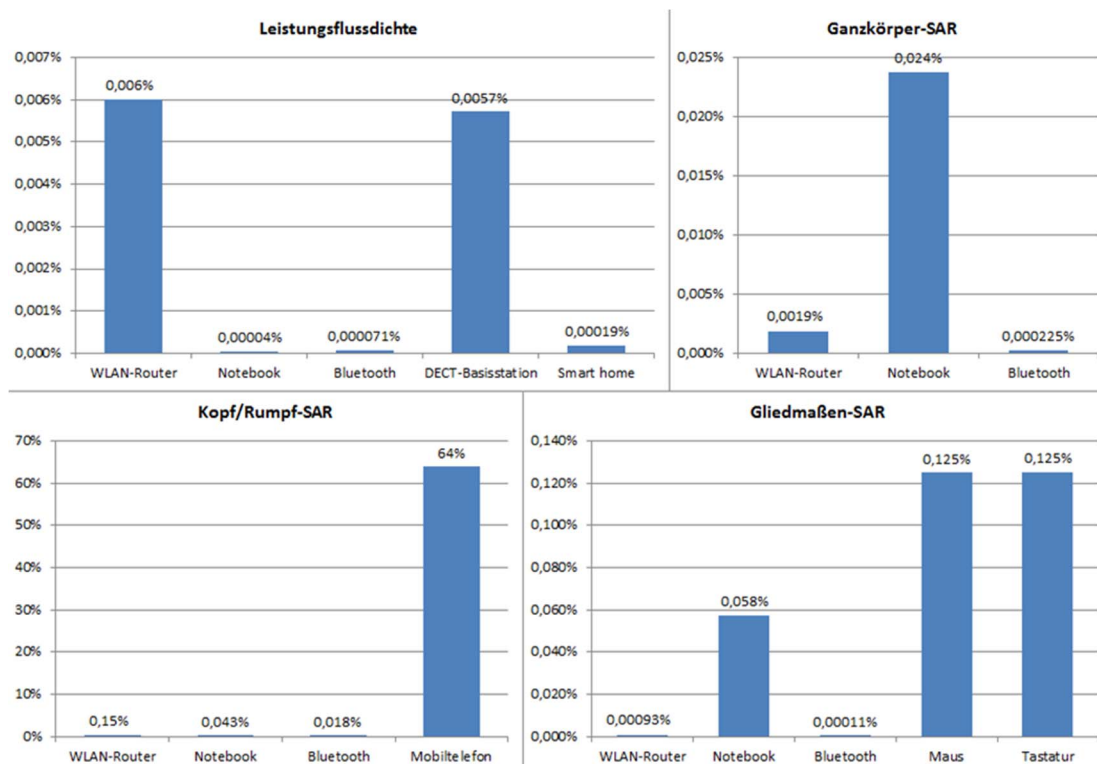
Quelle	Leistungsflussdichte ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)		SAR ($\mu\text{W}/\text{kg}$)	
	Wert im Szenario	Grenzwert*	Wert im Szenario	Grenzwert*
WLAN-Router	600	$10 \cdot 10^6$	1,5 (Gk) 3.000 (KR) 37 (GI)	$0,08 \cdot 10^6$ $2 \cdot 10^6$ $4 \cdot 10^6$
Notebook	4	$10 \cdot 10^6$	19 (Gk) 860 (KR) 2.300 (GI)	$0,08 \cdot 10^6$ $2 \cdot 10^6$ $4 \cdot 10^6$
Maus	–	–	< 5.000 (GI)	$4 \cdot 10^6$
Bluetooth	7,1	$10 \cdot 10^6$	0,18 (Gk) 350 (KR) 4,4 (GI)	$0,08 \cdot 10^6$ $2 \cdot 10^6$ $4 \cdot 10^6$
Mobiltelefon	–	–	$1,28 \cdot 10^6$ (KR)	$2 \cdot 10^6$
DECT-Basisstation	540	$9,45 \cdot 10^6$	–	–
SmartHome	8,1	$4,34 \cdot 10^6$	–	–
Grenzwertausschöpfung durch die Quellen insgesamt	0,012 %		0,026 % (Gk) 64,2 % (KR) 0,31 % (GI)	

* Referenzwerte aus der Empfehlung des Rates 1999/519/EG, die mit denen der ICNIRP (1998) übereinstimmen.
Gk: Ganzkörper, KR: Kopf/Rumpf, GI: Gliedmaßen

Quelle: Gröger et al. 2017, S. 82

Die prozentuale Grenzwertausschöpfung ist für die einzelnen Quellen in Abbildung 2.18 grafisch darstellt. Bei der Leistungsflussdichte dominieren der WLAN-Router und die DECT-Basisstation, bei der Kopf/Rumpf-SAR das Mobiltelefon.

Abb. 2.18 Prozentuale Grenzwertausschöpfungen durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich – Worst Case«



Quelle: nach Gröger et al. 2017, S. 83

2.4.1.3 Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich«

Im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich« wird eine Person betrachtet, die an einem Induktionsherd Gerichte zubereitet und dabei auf einem Tablet Kochrezepte im Internet ansieht. Die Person soll außerdem durch zwei Smarthomesender exponiert sein. Für das Expositionsszenario werden die folgenden Eigenschaften und Abstände der Geräte angenommen:

- > Induktionsherde arbeiten mit Frequenzen im Bereich von 20 kHz bis 100 kHz und bei Gesamtleistungen für alle vorhandenen Kochfelder bis 7.500 W. Es muss gemäß (BAG 2016c) der Referenzwert der magnetischen

Flussdichte von $6,25 \mu\text{T}$ ¹⁷ beim Betrieb einer Kochzone mit einer geeigneten, genügend großen und zentriert platzierten Pfanne in einem Abstand von 30 cm zum Kochfeld eingehalten werden. Messungen haben gezeigt, dass das gleichzeitige Betreiben von mehreren Kochzonen nicht wesentlich größere Streufelder vor dem Herd erzeugt als der Betrieb einer einzelnen Kochzone (BAG 2016c, S. 5).

- > Der Mindestabstand von 30 cm wird beim Kochen nicht immer eingehalten. Daher wurden in (BAG 2016c) abstandsabhängige Streufelder bei maximaler Heizleistung untersucht. Erwartungsgemäß sind die Streufelder umso größer, je näher beim Kochfeld gemessen wird. Im Abstand von 30 cm wurde bei allen untersuchten Modellen der Referenzwert von $6,25 \mu\text{T}$ eingehalten. Das Streufeld 1 cm vor der Kante des Kochfeldes übersteigt den Referenzwert in den meisten Fällen. Bei unzentrierter Platzierung der Pfannen wurde der Referenzwert mit für Induktionsherde geeigneten Pfannen im Abstand von < 1 bis 12 cm, mit ungünstigen Pfannen im Abstand von < 1 bis 20 cm erreicht. Alle Messungen wurden mit der größten Heizleistung durchgeführt. In (BAG 2016c, S. 7) wurde schließlich festgestellt, dass bei einem in der Praxis wohl üblichen Abstand von mindestens 5 bis 10 cm und einer sachgemäßen Handhabung der Pfanne (günstig, zentriert platziert) der Referenzwert in allen Messungen eingehalten wird. Es wird hier für das Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich« angenommen, dass die exponierte Person einer magnetischen Flussdichte von $8 \mu\text{T}$ ausgesetzt ist.
- > Das BfS stellt auf seiner Homepage SAR-Werte von Tablets zur Verfügung¹⁸ (BfS 2017b). Darin sind u. a. die maximalen SAR-Werte (Herstellerangaben) in verschiedenen Abständen aufgeführt. Für den Abstand 1,5 cm sind SAR-Werte am Körper von 0,10 und 0,91 W/kg genannt. Für das Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich« wird hier der relativ ungünstige Fall angenommen, dass die exponierte Person einer Kopf/Rumpf-SAR von 0,9 W/kg ausgesetzt ist.
- > Bezüglich der Expositionen durch Smarthomesender werden die gleichen Annahmen getroffen wie in den vorangehend beschriebenen Expositionsszenarien (zwei Sender in Abständen von 1 und 3 m).

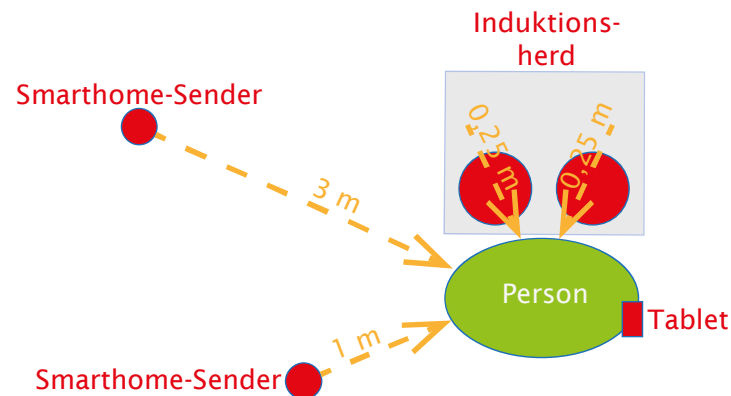
In Abbildung 2.19 ist das Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich« mit seinen Quellen von HF-Strahlung schematisch dargestellt.

In Tabelle 2.19 sind die Leistungsflussdichten und SAR-Werte, die sich aus den vorliegenden Untersuchungen ableiten lassen, für die Quellen des Expositionsszenarios »häuslicher Küchenbereich« zusammengefasst.

17 In ICNIRP 1998 wird der Referenzwert von $6,25 \mu\text{T}$ für diesen Frequenzbereich empfohlen, in ICNIRP 2010 der Referenzwert $27 \mu\text{T}$. In der 26. BImSchV ist für deren Regelungsbereich seit 2013 ein Grenzwert von $27 \mu\text{T}$ festgelegt, zuvor betrug er $6,25 \mu\text{T}$.

18 Zurzeit enthält die Liste nur eine geringe Anzahl von Tablet-Modellen, darunter keine aktuellen Modelle (Stand 23.9.2019)

Abb. 2.19 Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich«



Quelle: nach Gröger et al. 2017, S. 85

Tab. 2.19 Magnetische Flussdichten, Leistungsflussdichten und SAR-Werte im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich«

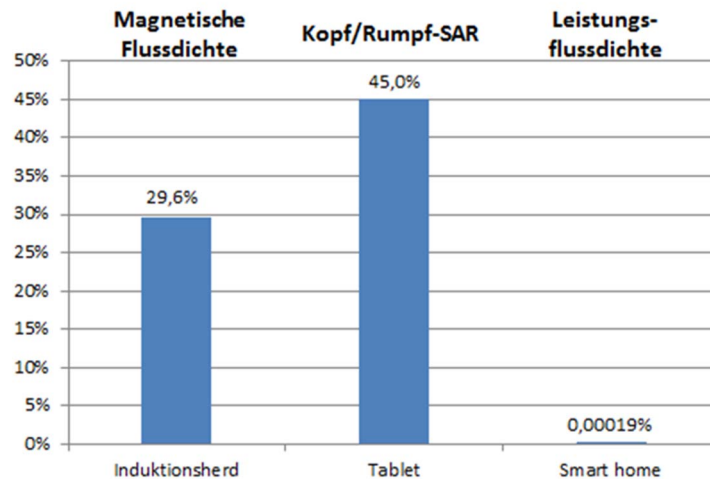
Quelle	magnetische Flussdichte (μT)		Leistungsflussdichte ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)		Kopf/Rumpf-SAR ($\mu\text{W}/\text{kg}$)	
	Wert im Szenario	Grenzwert	Wert im Szenario	Grenzwert*	Wert im Szenario	Grenzwert*
Induktionsherd	8	27	–	–	–	–
Tablet	–	–	–	–	$0,9 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$
Smarthome	–	–	8,1	$4,34 \cdot 10^6$	–	–
Grenzwertausschöpfung	29,6%		0,00019%		45,0%	

* Referenzwerte aus der Empfehlung des Rates 1999/519/EG, die mit denen der ICNIRP (1998) übereinstimmen.

Quelle: nach Gröger et al. 2017, S. 86

Die prozentuale Grenzwertausschöpfung ist für die einzelnen Quellen in Abbildung 2.20 grafisch darstellt.

Abb. 2.20 Prozentuale Grenzwertausschöpfungen durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich«



Quelle: Gröger et al. 2017, S. 87

Für das Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich – Worst Case« wird zusätzlich davon ausgegangen, dass in der Küche ein Mikrowellenherd mit Leckstrahlung betrieben wird. Außerdem soll die exponierte Person, anstatt das Tablet zu nutzen, mit einem Mobiltelefon telefonieren. Dem Expositionsszenario werden die folgenden Randbedingungen zugrunde gelegt:

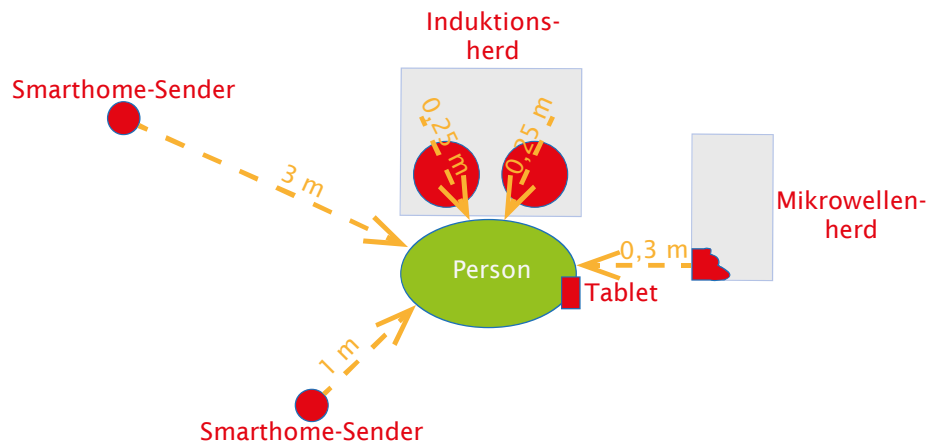
- > Mikrowellenherde weisen eine Frequenz von 2.450 MHz auf und werden in Leistungsbereichen zwischen 500 W und 2.000 W betrieben. Die durchschnittliche Leckstrahlung (als Leistungsflussdichte) gebrauchter Geräte wird in (BAG 2016d, S. 5) mit bis zu 0,41 mW/cm², als höchster Mittelwert aus Untersuchungen verschiedener Autoren, angegeben. Für neue Geräte wird eine Leistungsflussdichte von 0,08 mW/cm² genannt (BAG 2016d, S. 5). Außerdem werden SAR-Werte bei maximal zulässiger Leckstrahlung für verschiedene Abstände genannt (BAG 2016d, S. 6):
 - in 5 cm Abstand 0,256 W/kg (Kopf/Rumpf) und
 - in 30 cm Abstand 0,0056 W/kg (Ganzkörper).
 - Im Expositionsszenario wird hier davon ausgegangen, dass die exponierte Person am Induktionsherd tätig ist und vom gleichzeitig betriebenen Mikrowellenherd dabei 30 cm entfernt ist.
- > Für das Mobiltelefon werden die gleichen Strahlungseigenschaften wie in den vorangegangenen Expositionsszenarien angenommen.

In Abbildung 2.21 ist das Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich – Worst Case« mit seinen Quellen von HF-Strahlung schematisch dargestellt.

In Tabelle 2.20 sind die magnetischen Flussdichten, Leistungsflussdichten und SAR-Werte, die sich aus den vorliegenden Untersuchungen ableiten lassen,

für die Quellen des Expositionsszenarios »häuslicher Küchenbereich – Worst Case« zusammengefasst.

Abb. 2.21 Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich – Worst Case«



Quelle: nach Gröger et al. 2017, S. 88

Tab. 2.20 Leistungsflussdichten und SAR-Werte im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich – Worst Case«

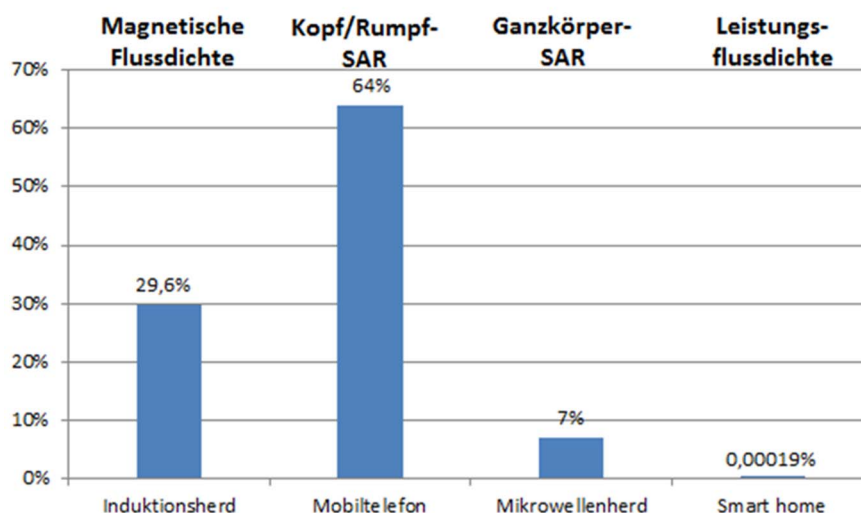
Quelle	magnetische Flussdichte (μT)		Leistungsflussdichte ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)		SAR ($\mu\text{W}/\text{kg}$)	
	Wert im Szenario	Grenzwert*	Wert im Szenario	Grenzwert	Wert im Szenario	Grenzwert*
Induktionsherd	8	27	–	–	–	–
Mikrowellenherd	–	–	–	–	5.600 (Gk)	80.000
Mobiltelefon	–	–	–	–	$1,28 \cdot 10^6$ (KR)	$2 \cdot 10^6$
Smarthome	–	–	8,1	$4,34 \cdot 10^6$	–	–
Grenzwertaus-schöpfung	29,6 %		0,00019 %		7,0 % (Gk) 64 % (KR)	

* Referenzwerte aus der Empfehlung des Rates 1999/519/EG, die mit denen der ICNIRP (1998) übereinstimmen.
Gk: Ganzkörper, KR: Kopf/Rumpf

Quelle: Gröger et al. 2017, S. 89

Die prozentuale Grenzwertausschöpfung ist für die einzelnen Quellen in Abbildung 2.22 grafisch darstellt.

Abb. 2.22 Prozentuale Grenzwertausschöpfungen durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich – Worst Case«



Quelle: Gröger et al. 2017, S. 90

2.4.1.4 Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk«

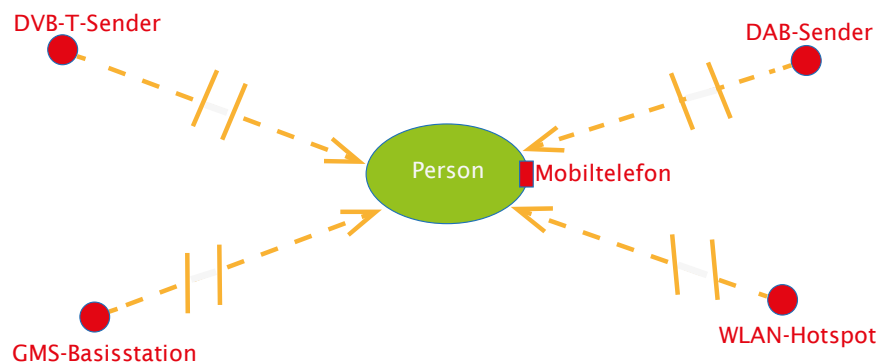
Im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk« wird eine Person betrachtet, die gemäß den Messungen der tatsächlichen HF-Exposition im öffentlichen Raum einer besonders hohen Exposition durch Basisstationen (GSM, UMTS, LTE), durch einen WLAN-Hotspot sowie durch digitale Rundfunk- und Fernsehsender ausgesetzt ist. Zusätzlich wird angenommen, dass die Person ein Gespräch über ein Mobiltelefon führt. Im Einzelnen werden die folgenden Expositionen angesetzt:

- Die in Deutschland durchgeführten Untersuchungen (Kap. 2.3) lassen den Schluss zu, dass die höchsten Leistungsflussdichten in der Nähe von GSM-Basisstationen (Sendefrequenz 900 MHz oder 1.800 MHz) auftreten. Als Gründe werden die häufig höhere Sendeleistung der GSM-Basisstationen, der gegenüber UMTS niedrigere Grenzwert insbesondere für GSM 900 und die bei den GSM-Basisstationen höhere Wahrscheinlichkeit, in die Hauptkeule einer Antenne zu geraten, genannt (Bornkessel et al. 2006b). Auf der Basis von Bornkessel et al. (2006b) wird hier eine Leistungsflussdichte von 100 mW/m² für das Expositionsszenario angesetzt.

- > Die Messungen in der Nähe von WLAN-Hotspots von Preiner et al. (2006) haben Spitzenwerte der Leistungsflussdichten von 100 bis 200 mW/m² ergeben, als 6-Minuten-Mittelwerte um den Faktor 10 bis 100 geringere Leistungsflussdichten. Im Hinblick auf die Einhaltung der Grenzwerte sind die 6-Minuten-Mittelwerte maßgeblich. Für das Expositionsszenario gehen wir konservativ von 20 mW/m² aus (ein Zehntel des maximalen Spitzenwerts).
- > Für den Bereich des Rundfunks wurden an der weit überwiegenden Zahl der Messpunkte (Frequenzbereich: 174 bis 230 MHz und 1.452 bis 1.492 MHz) Leistungsflussdichten von weniger als 1 µW/m² gemessen, maximal bis etwa 30 µW/m² (Bornkessel et al. 2006a). Für das Expositionsszenario gehen wir konservativ von einem sehr ungünstigen Standort bzw. einem fortschreitenden Ausbau der DVB-T Senderinfrastruktur aus, die zu einer Leistungsflussdichte von 100 µW/m² führt.
- > Für das Mobiltelefon werden die gleichen Strahlungseigenschaften wie in den vorangegangenen Expositionsszenarien angenommen.

In Abbildung 2.23 ist das Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk« mit seinen Quellen von HF-Strahlung schematisch dargestellt.

Abb. 2.23 Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk«



Quelle: nach Gröger et al. 2017, S. 91



In Tabelle 2.21 sind die Leistungsflussdichten und die SAR, die sich aus den vorliegenden Untersuchungen ableiten lassen, für die Quellen des Expositionsszenarios »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk« zusammengefasst.

Tab. 2.21 Leistungsflussdichten und SAR im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk«

Quelle	Leistungsflussdichte (W/m ²) Kopf/Rumpf-SAR (W/kg)			
	Wert im Szenario	Grenzwert*	Wert im Szenario	Grenzwert*
GSM-Basisstation	0,1	4,5**	–	–
WLAN-Hotspot	0,02	10	–	–
DAB/DVB-T-Sender	0,0001	2*	–	–
Mobiltelefon	–	–	1,28	2
Grenzwertausschöpfung durch die Quellen insgesamt	2,4 %		64 %	

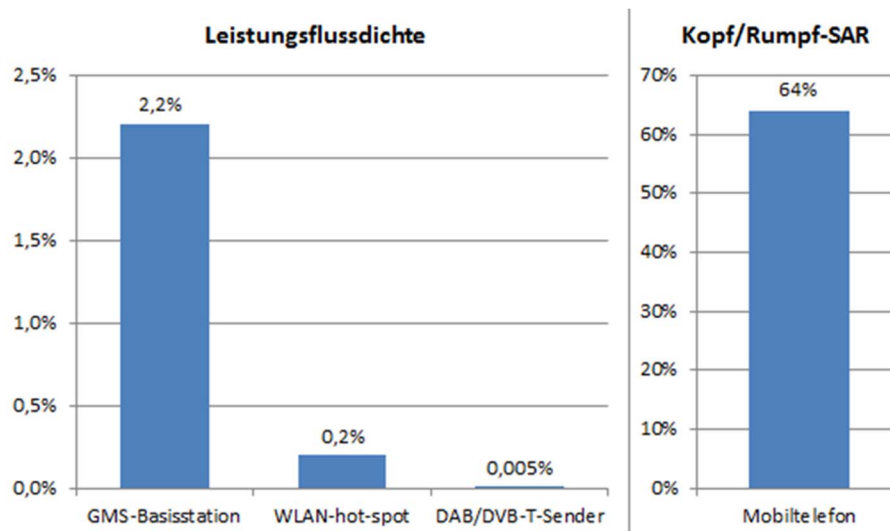
* Referenzwerte aus der Empfehlung des Rates 1999/519/EG, die mit denen der ICNIRP (1998) übereinstimmen.

** bezogen auf den ungünstigeren Fall der Frequenz (900 MHz bei GSM, bis 400 MHz bei DAB/DVB-T)

Quelle: Gröger et al. 2017, S. 92

Die prozentuale Grenzwertausschöpfung ist für die einzelnen Quellen in Abbildung 2.24 grafisch dargestellt. Bei der prozentualen Ausschöpfung der Grenzwerte der Leistungsflussdichte dominiert die GSM-Basisstation. Die höchste relative Ausschöpfung ergibt sich bei der Kopf/Rumpf-SAR für das Mobiltelefon.

Abb. 2.24 Prozentuale Grenzwertausschöpfungen durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk«

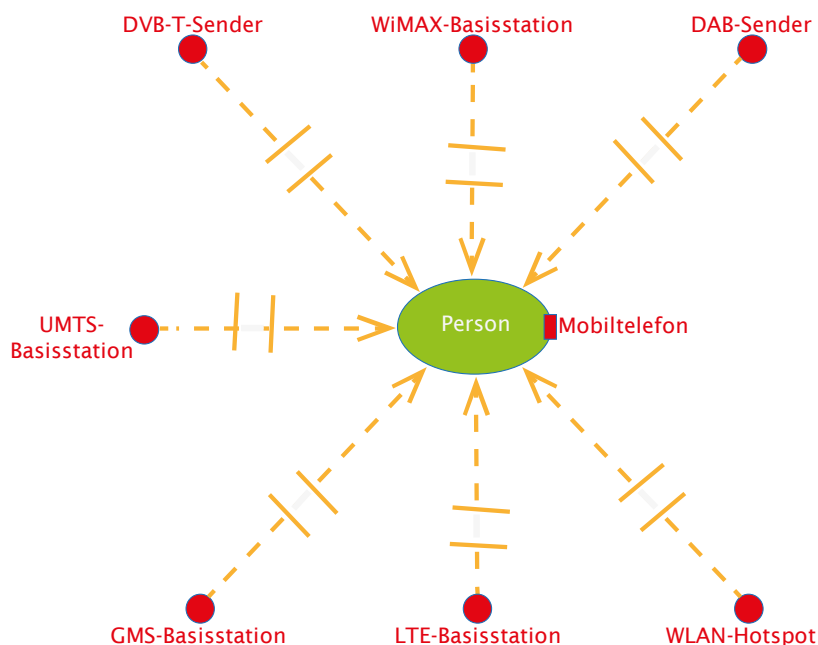


Quelle: Gröger et al. 2017, S. 93

- › Mit der Funktechnologie WiMAX sollen Bereiche bis 50 km abgedeckt werden, um ein flächendeckendes Datenübertragungsnetz zu erreichen. Die Frequenz der Sender in Deutschland beträgt 3,6 GHz, die maximale Leistung 40 W. Die Leistung ist daher vergleichbar mit der von UMTS-Basisstationen. Da WiMAX-Sendeanlagen hohe Datenflüsse über definierte Strecken gewährleisten sollen, strahlen sie mit schmalen Keulen nur in eine Richtung ab. Aufgrund dieser schmalen Keulen gehen wir für das Expositionsszenario davon aus, dass die exponierte Person durch WiMAX einer zehnfach höheren Leistungsflussdichte ausgesetzt ist als durch eine in der Nähe befindliche UMTS-Basisstation.

In Abbildung 2.25 ist das Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk – Worst Case« mit seinen Quellen von HF-Strahlung schematisch dargestellt.

Abb. 2.25 Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk – Worst Case«



Quelle: nach Gröger et al. 2017, S. 94

In Tabelle 2.22 sind die Leistungsflussdichten und die SAR, die sich aus den vorliegenden Untersuchungen ableiten lassen, für die Quellen des Expositionsszenarios »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk – Worst Case« zusammengefasst.

Die prozentuale Grenzwertausschöpfung ist für die einzelnen Quellen in Abbildung 2.26 grafisch darstellt. Bei der Leistungsflussdichte dominiert die GSM-Basisstation, bei der Kopf/Rumpf-SAR das Mobiltelefon.

Tab. 2.22 Leistungsflussdichten und SAR-Werte im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk – Worst Case«

Quelle	Leistungsflussdichte (W/m ²)		Kopf-Sumpf-SAR (W/kg)	
	Wert im Szenario	Grenzwert*	Wert im Szenario	Grenzwert*
GSM-Basisstation	0,1	4,5*	–	–
UMTS-Basisstation	0,07	10	–	–
LTE-Basisstation	0,03	4*	–	–
WLAN-Hotspot	0,02	10	–	–

2.4 Untersuchung-ausgewählter Expositionsszenarien



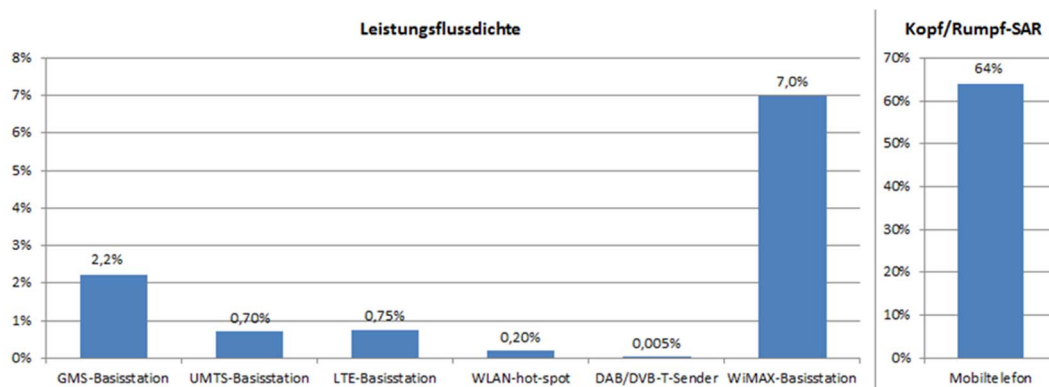
DAB/DVB-T-Sender	0,0001	2*	–	–
WiMAX-Basisstation	0,7	10	–	–
Mobiltelefon	–	–	1,28	2
Grenzwertausschöpfung durch die Quellen insgesamt	10,9%		64%	

* bezogen auf den ungünstigeren Fall der Frequenz (900 MHz bei GSM, 1.800 MHz bei LTE, bis 400 MHz bei DAB/DVB-T)

* Referenzwerte aus der Empfehlung des Rates 1999/519/EG, die mit denen der ICNIRP (1998) übereinstimmen.

Quelle: Gröger et al. 2017, S. 95

Abb. 2.26 Prozentuale Grenzwertausschöpfungen durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk – Worst Case«



Quelle: Gröger et al. 2017, S. 96

2.4.1.5 Expositionsszenario »öffentlicher Raum einschließlich induktivem Laden von Elektrofahrzeugen«

Das induktive (kabellose) Laden ist in einigen Bereichen weit verbreitet, insbesondere bei elektrischen Kleingeräten. Aber auch Förderbänder oder autarke Transportsysteme werden inzwischen zum Teil induktiv geladen. Bei Straßenfahrzeugen gibt es einige Versuche mit dieser Technik, allerdings weniger im öffentlichen Raum.

Für das hier zu entwickelnde theoretisch denkbare Expositionsszenario »öffentlicher Raum einschließlich induktivem Laden von Elektrofahrzeugen« ist ein Fall relevant, in dem auf Verkehrswegen durch eingebaute Induktionsschleifen darüber befindliche Fahrzeuge in einem Bereich geladen werden, in dem sich auch Fußgänger in der Nähe der Fahrzeuge befinden. Dies kann beispielsweise auf einem Parkplatz oder an einer Ampel der Fall sein, an der Fahrzeuge beim

Halt aufgeladen werden und gleichzeitig Fußgänger neben einem solchen Fahrzeug auf ihre Grünphase warten.

Technische Details eines möglicherweise zukünftig sich etablierenden Systems zum induktiven Laden im Straßenverkehr sind noch nicht bekannt. Die Schaffung einer breiten Anwendungsmöglichkeit setzt eine gewisse Normung voraus. Die Literatur zu diesem Thema ist insbesondere mit den technischen Fragen befasst, während im Hinblick auf die HF-Exposition oft nur auf die Notwendigkeit der Einhaltung der entsprechenden Grenzwerte hingewiesen wird. Nachfolgend wird daher anhand verfügbarer Literatur darauf eingegangen, ob das induktive Laden von Fahrzeugen im Straßenverkehr eine relevante Quelle von HF-Expositionen darstellen kann.

In FfE (2012) wurde die Alltagstauglichkeit von induktiven Ladesystemen untersucht. Ein Aspekt war die technische Tauglichkeit, zu deren Überprüfung Probanden diese Technik über einen gewissen Zeitraum nutzten und einer Befragung zu ihren Erfahrungen unterzogen wurden. Daneben wurden technische Daten erhoben. Schließlich wurden auch Messungen der magnetischen Feldstärke in bzw. außen neben den Fahrzeugen durchgeführt. Dabei wurden zwei Fälle unterschieden: Im ersten Fall befand sich das Fahrzeug in optimaler Position (Sekundärplatte vollständig über der Primärplatte, Best Case), im zweiten Fall in einer sehr ungünstigen Position (nur Teilüberdeckung von Sekundär- und Primärplatte, Worst Case), bei der das Laden gerade noch möglich war. Im zweiten Fall kommt es zu einer deutlich größeren Streuung des elektromagnetischen Feldes.

Im Best Case betrug die gemessene magnetische Feldstärke in 60 cm Höhe über dem Boden maximal etwa 10 μT und im Mittel etwa 5,5 μT (FfE 2012, S.55). In 50 cm Abstand vom Fahrzeug betrugen die Werte noch maximal etwa 3 μT , die Mittelwerte weniger als 2 μT . Die Mittelwerte in 1 m Abstand lagen bereits unterhalb von 1 μT . Innerhalb der Fahrerkabine wurden maximal 0,18 μT und im Mittel 0,06 μT gemessen (FfE 2012, S.56).

Im Worst Case wurden mit etwa 22 μT (Maximum) und 13 μT (Mittelwert) etwa doppelt so hohe magnetische Flussdichten in 60 cm Höhe über dem Boden gemessen wie im Best Case (FfE 2012, S.56). In 50 cm Abstand vom Fahrzeug wurden magnetische Flussdichten von weniger als 10 μT (Maximum) und 4 μT (Mittelwert) gemessen, in 1 m Abstand magnetische Flussdichten von weniger als 6 μT (Maximum) und weniger als 2 μT (Mittelwert). Innerhalb der Fahrerkabine wurden maximal 0,24 μT und im Mittel 0,086 μT gemessen (FfE 2012, S.56).

Schließlich wurde die Höhe über dem Boden bei einem konstanten Abstand von 15 cm vom Fahrzeug bei den Messungen variiert. Im Best Case wurden magnetische Flussdichten bis etwa 33 μT (Maximum) und etwa 20 μT (Mittelwert) in der Höhe von 15 cm gemessen. Bis in 120 cm Höhe wurden Werte von etwa 2 μT (Maximum) und etwa 1 μT (Mittelwert) erreicht. Der Grenzwert der 26. BImSchV in 27 μT wurde in 15 cm Höhe noch überschritten, nicht aber ab



der nächsten ausgemessenen Höhe von 30 cm (FfE 2012, S.57). Für den Worst Case wurde die Höhenabhängigkeit der magnetischen Flussdichte in (FfE 2012) nicht untersucht.

Die SSK hat in ihrem Statusbericht (SSK 2013, 11 ff.) hinsichtlich des induktiven Ladens von Elektrofahrzeugen festgestellt, dass mögliche Expositionsszenarien aufgrund der derzeit fehlenden Daten noch nicht endgültig beurteilbar sind. Sie hat dabei grundsätzlich konstatiert, dass im eigentlichen Bereich der Übertragung, d.h. im Luftspalt zwischen den beiden Spulen, die Referenzfeldstärken für die Personenexposition bei der jeweiligen Betriebsfrequenz überschritten werden können. Dementsprechend hat die SSK das Streufeld des Luftspaltes um die Spulenanordnung grundsätzlich als expositionsrelevant beurteilt, sodass sich für die SSK die Frage nach der Zugänglichkeit dieser Bereiche, d.h. zumindest in der Praxis konkret möglicher Teilkörperexpositionen, gestellt hat. Weiterhin hat die SSK festgestellt, dass den zugänglichen technischen Spezifikationen der Hersteller zwar Detektions- und Sicherheitsmaßnahmen zu entnehmen sind, es aber praktisch noch keine von unabhängigen Stellen in realen Versuchen ermittelten Expositionsdaten für vorstellbare Worst-Case-Fälle gibt. Die SSK kam daher zum Schluss: »Die Entwicklung der induktiven Ladetechnologien wird deshalb in Bezug auf die Personenexposition kritisch zu begleiten sein« (SSK 2013, S. 12).

Im Expositionsszenario »öffentlicher Raum einschließlich induktivem Laden von Elektrofahrzeugen« sind demnach die im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk« genannten Expositionen anzunehmen, zuzüglich einer Komponente durch das induktive Laden von Elektrofahrzeugen, die aber bisher nicht ausreichend quantifiziert werden kann. Sicher ist aber, dass das induktive Laden von Elektrofahrzeugen mit relativ hohen HF-Expositionen verbunden sein kann, wenn der HF-Problematik bei der weiteren technischen Entwicklung keine besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird.

2.4.1.6 Exposition durch einzelne HF-Quellen im Haushalt

In den vorangehenden Expositionsszenarien wurde dargestellt, dass die Beiträge der verschiedenen HF-Quellen zur Gesamtexposition im Haushalt bzw. im häuslichen Arbeitsbereich sehr unterschiedlich sind. Die Ursache hierfür ist die sehr unterschiedliche Strahlungsleistung der jeweiligen Geräte und die unterschiedlichen Abstände der exponierten Person zum jeweiligen Gerät.

Damit die Geräte auch individuell und in abweichenden Zusammenstellungen bewertet werden können, wird nachfolgend die Exposition durch einzelne HF-Quellen dargestellt. Dies erfolgt anhand einer einfachen Berechnung, die sich aus den geometrischen Eigenschaften der Wellenausbreitung im Raum ergibt. Als Berechnungsmodell wird hier Abstrahlung der Hochfrequenz durch einen isotropen Kugelstrahler angenommen (Petermann 2013). Die Sendeleistung



verteilt sich bei diesem Modell auf der Oberfläche einer Kugel mit dem Radius r . Für die Leistungsdichte S in Abhängigkeit der Entfernung r ergibt sich dadurch folgende Berechnungsvorschrift:

$$S_{iso} = \frac{P}{2\pi * r^2} [W/m^2]$$

Hier bedeuten:

- S_{iso} : Leistungsdichte der elektromagnetischen Strahlung bei isotropem Kugelstrahler
- P : Sendeleistung (EIRP) in Watt
- r : Kugelradius in Metern = Entfernung zur Sendeantenne

Geht man zusätzlich davon aus, dass die Antenne eine Richtcharakteristik aufweist, so erhöht sich die Leistungsdichte um den jeweiligen Faktor des Antennengewinns G :

$$S = \frac{G * P}{2\pi * r^2} [W/m^2]$$

Hier bedeuten:

- S : Leistungsdichte der elektromagnetischen Strahlung
- G : Antennengewinnfaktor (ohne Einheit)
- P : Sendeleistung (EIRP) in Watt
- r : Entfernung zur Sendeantenne

Für die Expositionsabschätzung wurde unterstellt, dass die Antenne horizontal in allen Richtungen abstrahlt und einen Antennengewinn 3 dBi aufweist, woraus sich ein Antennengewinnfaktor G von 2 ergibt. Die so berechnete Leistungsdichte gilt nur für die ungestörte HF-Ausbreitung im Raum im sogenannten Fernfeld. Das Fernfeld beginnt ab einem Abstand, der größer als die jeweilige Antennenlänge ist. Bei den hier untersuchten sehr hohen Frequenzen sind die Antennen sehr klein, weshalb bereits nach wenigen Zentimetern von einem Fernfeld ausgegangen werden kann.

Jeder Frequenz ist ein Referenzwert zugeordnet (Tab. 2.23), dessen Unterschreitung sicherstellt, dass die jeweiligen Grenzwerte für die elektromagnetische Strahlung eingehalten werden. Unter Berücksichtigung der typischen Sendeleistung der jeweiligen HF-Quelle ergibt sich daraus ein Mindestabstand zur Antenne, bei dem der Referenzwert gerade (zu 100%) erreicht wird. Dieser Abstand zur Antenne sollte nach Möglichkeit nicht oder nicht über einen längeren Zeitraum unterschritten werden.

Tab. 2.23 Abschätzung von Mindest- und Vorsorgeabständen für einzelne HF-Quellen

HF-Quelle	typische Sende- frequenz	typische Sende- leistung	Referenz- wert	Mindest- abstand (100 % Referenz- wert)	Vorsorge- abstand (1 % Referenz- wert)
Mobiltelefon	1.920,0 MHz	0,010 W	9,60 W/m ²	1,3 cm	13 cm
DECT	1.880,0 MHz	0,010 W	9,40 W/m ²	1,3 cm	13 cm
WLAN	2.400,0 MHz	0,010 W	10,00 W/m ²	1,3 cm	13 cm
Bluetooth	2.400,0 MHz	0,001 W	10,00 W/m ²	0,4 cm	4 cm
Babyphon	27,0 MHz	0,082 W	2,00 W/m ²	8,1 cm	81 cm
Smarthome	868,0 MHz	0,001 W	4,34 W/m ²	0,6 cm	6 cm
Mikrowellen- herde	2.450,0 MHz	–	2 W/kg	5,0 cm	50 cm
Induktions- herd	0,1 MHz	–	6,25 µT	30,0 cm	300 cm
induktives Laden	0,1 MHz	–	6,25 µT	40,0 cm*)	400 cm*)

* Diese Werte gelten bei nicht optimaler Überdeckung von Primär- und Sekundärspule bei KFZ gemäß FfE 2012

Quelle: Gröger et al. 2017, S. 99

Um einen Eindruck davon zu gewinnen, welche Mindestabstände auch bei einer Mehrfachexposition unbedenklich sind, wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ein »Vorsorgeabstand« definiert. Beim Vorsorgeabstand wird der Referenzwert zu 1 % ausgeschöpft. Das heißt, selbst bei Exposition durch eine Vielzahl von HF-Quellen, sofern deren Anzahl 100 Stück nicht überschreitet, die weiter als der Vorsorgeabstand entfernt sind, wird der Referenzwert nicht überschritten. Der Vorsorgeabstand ist dabei gerade um den Faktor 10 größer als der Mindestabstand, da die Leistungsdichte mit der Entfernung quadratisch abnimmt (S proportional zu $1/r^2$).

Die Abschätzung der Mindest- und Vorsorgeabstände kann wie folgt interpretiert werden. Die geringsten Mindestabstände weisen die Bluetoothgeräte (0,4 cm) sowie die Smarthomegeräte (0,6 cm) auf. Die Geräte Mobiltelefon, DECT-Telefon und WLAN weisen einen Mindestabstand der Antenne von 1,3 cm auf. Bei den Telefonen ist die Antenne in der Regel in die Rückseite der jeweiligen Geräte integriert. Das Gerät schirmt die Strahlung zum Ohr hin ab und die Antenne befindet sich trotz des Körperkontaktes des Telefons außerhalb

dieses Mindestabstandes. Überschritten kann der Referenzwert jedoch, wenn die Telefonrückseite direkt auf den Körper gelegt wird. Größere Mindestabstände weisen Mikrowellenherde (5 cm) und Babyphone (8,1 cm) auf. Die jeweiligen Vorsorgeabstände liegen hier bei 50 und 81 cm. Insbesondere bei Babyphonen sollte daher auf einen entsprechenden Abstand zum überwachten Baby geachtet werden. Um eine weitere Größenordnung höher ist der Mindestabstand, der sich für Induktionsherde (30 cm) und das induktive Laden von Fahrzeugen (40 cm) ergibt. Diese Abstände wurden nicht mit der zuvor aufgeführten Expositionsformel berechnet, sondern ergeben sich beim Induktionsherd aus dessen technischen Mindestanforderungen (Kap. 2.1.8) und den Messergebnissen eines Forschungsprojektes bei nicht optimaler Überdeckung von Primär- und Sekundärspule beim Fahrzeugladen (FfE 2012).

2.4.2 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse der Expositionsszenarien

Trotz der sehr ungünstigen Expositionsannahmen wurden in den untersuchten Expositionsszenarien die Grenzwerte der magnetischen Flussdichte, der Leistungsflussdichte oder der spezifischen Absorptionsrate (SAR) im Allgemeinen deutlich unterschritten.

Geräte mit einer Sendeleistung (ERP) von kleiner als 20 mW können den SAR-Grenzwert von 2 W/kg (gemittelt über 10 g Körpergewebe) aus physikalischen Gründen nicht erreichen. Eine Vielzahl der Funkgeräte, die in Haushalten verwendet werden, wie WLAN, Bluetooth, DECT und Smarthomesender liegen mit ihren typischen Sendeleistungen unterhalb des Wertes von 20 mW. Solche Geräte können daher, selbst bei direktem Kontakt mit Personen, nicht zu einer Grenzwertüberschreitung führen.

Darüber hinaus nehmen Leistungsflussdichten mit der Entfernung sehr schnell ab (Abnahme proportional zum Quadrat der Entfernung). Dadurch treten die höchsten Expositionen durch solche Sendeeinrichtungen auf, die unmittelbar an den Körper gehalten werden (z. B. Mobiltelefon, Laptop, Tablet) bzw. denen die exponierte Person sich sehr stark nähert (z. B. Induktionsherd, Fahrersitz beim induktiven Fahrzeugladen). Ferne Quellen (z. B. Basisstationen von GSM, UMTS, LTE und WiMAX) führen demgegenüber zu sehr viel niedrigeren Expositionen, auch wenn sie eine deutlich höhere Leistung aufweisen.

Grenzwerte der Leistungsflussdichte werden in den Expositionsszenarien zu maximal 2,4% (ungünstige Annahmen) bzw. 10,6% (Worst Case) ausgeschöpft. Verantwortlich sind dafür die Expositionen durch Basisstationen vor allem von GSM und WiMAX im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk«, während Expositionen durch digitalen Hörfunk und digitales Fernsehen von untergeordneter Bedeutung sind.



Im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich« wird der Grenzwert der magnetischen Flussdichte durch die Nutzung eines Induktionsherds zu etwa 30 % ausgeschöpft. Ein im Worst Case eingeschalteter Mikrowellenherd mit Leckstrahlung führt zusätzlich zu einer Grenzwertausschöpfung der Ganzkörper-SAR von 7 %.

Die höchste Ausschöpfung von Grenzwerten ergab sich für die Kopf/Rumpf-SAR, wenn die Nutzung eines Mobiltelefons oder Tablets mit relativ ungünstigen Strahlungseigenschaften angenommen wird (Ausschöpfung bis 64 %). Dies bestätigt, dass die höchsten individuellen Expositionen aus der Nutzung solcher Endgeräte resultieren, wenn beim Kauf nicht auf besonders günstige Strahlungseigenschaften geachtet wird. Auch andere Untersuchungen kommen zum Ergebnis, dass ein eigenes Endgerät am Kopf stets die Immission dominiert, beispielsweise (IZMF 2015).

Hinsichtlich einer HF-Exposition im öffentlichen Raum durch induktives Laden von Elektrofahrzeugen lässt sich auf dem derzeitigen Kenntnisstand noch keine Abschätzung machen. Sicher ist aber, dass das induktive Laden von Elektrofahrzeugen mit relativ hohen HF-Expositionen verbunden sein kann, wenn der HF-Problematis bei der weiteren technischen Entwicklung keine besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird. Hierbei sind die folgenden Aspekte von Relevanz:

- › Bei Versuchen sind die relevanten Feldgrößen am Fahrersitz während des Ladevorgangs bei unterschiedlichen Positionen der Spulen im Fahrzeug und darunter zu erheben.
- › Diese Feldgrößen sind auch im Bereich neben dem Fahrzeug in verschiedenen Höhen zu bestimmen.
- › Eine Ausschöpfung von Grenzwerten sollte nach Möglichkeit unterhalb von 30 % bleiben. Die Grundsätze bei der Ableitung von Emissionsstandards bei gleichzeitig betriebenen Feldquellen nach (SSK 2007) sind zu beachten.
- › Einrichtungen zum induktiven Laden sollten räumlich so angelegt werden, dass sich Personen nicht in unmittelbarer Nähe aufhalten. Andernfalls sind Absperrungen und Informationshinweise zur Wahrung von Sicherheitsabständen erforderlich.



3 Grenzwerte und Risikogovernance für elektromagnetische Felder

Zum Schutz der Bevölkerung vor möglichen gesundheitlichen Risiken durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern sind in Deutschland und den meisten anderen Ländern Grenzwerte in Kraft. Die Grundlage für die Festsetzung von Grenzwerten sind die wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken. Da ein klarer wissenschaftlicher Nachweis für gesundheitliche Effekte von HF-EMF bislang nur für thermische Wirkungen geführt werden konnte, zielen die Grenzwerte darauf ab, gesundheitsrelevante Wärmebelastungen des Körpers durch HF-EMF zu verhindern.

Wie in den Kapiteln 4.3, 4.4 und 4.5 ausführlich dargelegt, existiert bezüglich möglicher nichtthermischer Wirkungen mit gesundheitlichen Auswirkungen eine Vielzahl von Studien unterschiedlicher Qualität mit teils widersprüchlichen bzw. inkonsistenten Resultaten. Ob und ggf. wie diese Evidenzen bei der Festsetzung von Grenzwerten für HF-EMF zu berücksichtigen sind, wird in Fachkreisen und in der breiten Öffentlichkeit zum Teil sehr kontrovers diskutiert. Im konventionellen Ansatz, der von den relevanten Behörden verfolgt wird, werden sie bei der Setzung von Grenzwerten nicht berücksichtigt, sondern führen zur Empfehlung von Vorsorgemaßnahmen. So empfiehlt etwa die Strahlenschutzkommission, über die Einhaltung der Grenzwerte hinaus »Maßnahmen zu ergreifen, um Expositionen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Rahmen der technisch und wirtschaftlich sinnvollen Möglichkeiten zu minimieren. Dies gilt insbesondere für Bereiche, in denen sich Personen regelmäßig über längere Zeit aufhalten.« (SSK 2001, S. 16).

Einen Schritt weiter geht hier etwa die Schweiz, die nicht nur annahmt, dass technisch und wirtschaftlich sinnvoll umsetzbare Maßnahmen zur Expositionsminimierung durchgeführt werden, sondern diese mittels Anlagengrenzwerten festschreibt. Damit wird dem in der Schweizer Umweltschutzgesetzgebung verankerten Vorsorgeprinzip Rechnung getragen. Diese Anlagengrenzwerte sind etwa zehnfach niedriger als die Expositionsgrenzwerte und gelten nur an »Orten mit empfindlicher Nutzung« (z. B. Wohnräume, Schulräume, Kindergärten, Krankenhäuser, ständige Arbeitsplätze) (Missling et al. 2016, 180 f.).

Die in Deutschland gültigen Grenzwerte gehen auf Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) zurück. Diese Empfehlungen nehmen international eine herausgehobene Stellung ein. So stützen sich auch die Richtlinie 2013/35/EU¹⁹ und die Empfehlung des

19 Richtlinie 2013/35/über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) und zur Aufhebung der Richtlinie 2004/40/EG

Rates 1999/519/EG²⁰ sowie die Grenzwerte vieler weiterer Länder auf sie (Missling et al. 2016). Die WHO setzt sich ebenfalls dafür ein, die ICNIRP-Empfehlungen als Richtschnur zu nutzen (WHO 2006a, 7 f.).

Daher werden im Folgenden zunächst die wesentlichen Inhalte der ICNIRP-Empfehlungen dargelegt. Danach werden die in Deutschland geltenden Grenzwerte aufgeführt und diskutiert.

3.1 Empfehlungen der ICNIRP

Die ICNIRP-Empfehlungen zur Begrenzung der Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder zielen darauf ab, sicherzustellen, dass die Temperaturerhöhung im Körpergewebe den Wert von 1 °C nicht überschreitet.²¹ Körpergewebe erwärmen sich, wenn sie Strahlungsenergie absorbieren. Angegeben wird dies meist mittels der spezifischen Absorptionsrate SAR (Maßeinheit Watt pro Kilogramm – W/kg), die die Leistung (Energienmenge pro Sekunde) angibt, die pro Kilogramm Körpergewebe absorbiert wird. Zur Orientierung: eine Ganzkörperexposition mit einer SAR von etwa 4 W/kg, die 30 Minuten andauert, bewirkt eine Temperaturerhöhung von ungefähr 1 °C in den meisten Körpergeweben.

In ihrer Empfehlung zur Begrenzung von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Wechselfeldern im Frequenzbereich bis 300 GHz unterscheidet die ICNIRP zwischen Basisgrenzwerten (»basic restrictions«) und Referenzwerten (»reference levels«) (ICNIRP 1998, S.495): *Basisgrenzwerte* beziehen sich unmittelbar auf die im Gewebe wirksamen physikalischen Einflussgrößen. Abhängig von der Frequenz sind dies die Größen Stromdichte (J)²², spezifische Absorptionsrate (SAR) bzw. Leistungsflussdichte (S)²³. Nur die Leistungsflussdichte außerhalb des Körpers kann tatsächlich gemessen werden. Die Messung von Stromdichten bzw. SAR-Werten in lebendem Gewebe ist dagegen nicht praktikabel. Messungen können zwar an Phantomen (Modelle, die die Absorptionseigenschaften menschlichen Körpergewebes nachbilden) erfolgen. Da dies aber sehr aufwändig ist, werden leichter mess- und/oder simulierbare Feldgrößen herangezogen (elektrische und magnetische Feldstärke, magnetische Flussdichte etc.) und hierfür Schwellwerte definiert. Dies sind die *Referenzwerte*, deren Höhe so festgelegt wird, dass ihre Einhaltung auch die Einhaltung der

20 1999/519/EG: Empfehlung des Rates zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz — 300 GHz)

21 Beim hier nicht näher diskutierten Bereich niederfrequenter Felder (bis ca. 100 kHz) stehen Einflüsse auf Muskel- und Nervenzellen im Vordergrund, die durch induzierte Körperströme verursacht werden.

22 Die Stromdichte (Einheit mA/m²) bezeichnet den elektrischen Strom (in mA), der durch eine Fläche (in m²) fließt.

23 Die Leistungsflussdichte (Einheit W/m²) ist ein Maß für die senkrecht auf eine Fläche (in m²) auftreffende Strahlungsleistung (in W).

Basisgrenzwerte sicherstellt. Falls gemessene oder berechnete Werte einen Referenzwert überschreiten, heißt dies nicht notwendigerweise, dass die Basisgrenzwerte nicht eingehalten sind. Bei Überschreiten eines Referenzwerts ist es jedoch erforderlich, die Einhaltung der einschlägigen Basisgrenzwerte zu überprüfen und festzustellen, ob zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich sind.

Die Basisgrenzwerte nach ICNIRP (1998) sind in Tabelle 3.1 aufgeführt, die Referenzwerte in Tabelle 3.2. Um zu gewährleisten, dass die Temperaturerhöhung auch unter ungünstigen Umständen auf weniger als 1 °C begrenzt bleibt, wurde ein Sicherheitsfaktor von 10 für beruflich Exponierte (d.h. ein SAR von 0,4 W/kg) und von 50 für die allgemeine Bevölkerung (entspricht einem SAR von 0,08 W/kg) festgelegt. Für die Exposition von Teilen des Körpers gelten etwas höhere SAR-Werte (2 W/kg für den Kopf, 4 W/kg für die Gliedmaßen) (ICNIRP 1998, S. 509). Die Messvorschrift sieht vor, die SAR-Werte über 6-Minuten-Zeitintervalle und 10 g Körpergewebe zu mitteln. Da bei Frequenzen oberhalb von etwa 10 GHz die Absorption der Strahlungsleistung dicht an der Oberfläche erfolgt, ist die SAR keine sinnvolle Größe mehr. Für die Grenzwerte wird bei Frequenzen oberhalb 10 GHz daher die Leistungsflussdichte herangezogen.

Tab. 3.1 Basisgrenzwerte für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder

Frequenzbereich	Stromdichte (Kopf und Rumpf) (mA/m ²) (Effektivwerte)	mittlere Ganzkör- per-SAR (W/kg)	lokale SAR (Kopf und Rumpf) (W/kg)	lokale SAR (Glied- maßen) (W/kg)	Leistungs- flussdichte (W/m ²)
bis 1 Hz	8	–	–	–	–
1 Hz–4 Hz	8/f				
4 Hz–1.000 Hz	2				
1.000 Hz–100 kHz	f/500				
100 kHz–10 MHz		0,08	2	4	
10 MHz–10 GHz	–				
10 GHz–300 GHz		–	–	–	10

f: Frequenz in der jeweils für das Frequenzintervall angegebenen Einheit

Quelle: nach ICNIRP 1998, S. 509

Tab. 3.2 Referenzwerte (ungestörte Mittelwerte) für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder

Frequenzbereich	elektrische Feldstärke (V/m)	magnetische Feldstärke (A/m)	magnetische Flussdichte (μT)	Leistungsflussdichte ebener Wellen (W/m²)
bis 1 Hz	–	32.000	40.000	
1 Hz–8 Hz	10.000	$32.000/f^2$	$40.000/f^2$	
8 Hz–25 Hz		$4.000/f$	$5.000/f$	
0,025 kHz–0,8 kHz	250/f	$4/f$	$5/f$	
0,8 kHz–3 kHz		5	6,25	–
3 Hz–150 kHz	87			
0,15 MHz–1 MHz		$0,73/f$	$0,92/f$	
1 MHz–10 MHz	$87/f^{0,5}$			
10 MHz–400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 MHz–2.000 MHz	$1,375 \cdot f^{0,5}$	$0,0037 \cdot f^{0,5}$	$0,0046 \cdot f^{0,5}$	$f/200$
2 GHz–300 GHz	61	0,16	0,20	10

f: Frequenz in der jeweils für das Frequenzintervall angegebenen Einheit
Für Frequenzen von 100 kHz bis 10 GHz sieht die ICNIRP die Mittelung der Größen der Referenzwerte über 6 Minuten vor.

Quelle: nach ICNIRP 1998, S. 511

Für den Fall der gleichzeitigen Exposition durch Felder unterschiedlicher Frequenzen hat die ICNIRP eine Reihe von Rechenvorschriften entwickelt, wie die verschiedenen Wirkungen dieser Exposition zu summieren sind, und sie hat zur Begrenzung der Gesamtexposition bestimmte Bedingungen empfohlen (ICNIRP 1998, 513 f.).

2010 hat die ICNIRP neue Empfehlungen für den Schutz vor Wechselfeldern im Niederfrequenzbereich von 1 Hz bis 100 kHz (mit Erweiterung auf bis zu 10 MHz) veröffentlicht (ICNIRP 2010). Diese befassen sich mit dem besonderen Schutz des zentralen Nervensystems im Bereich des Kopfes, z.B. Gehirn und Netzhaut. Die für Personen der Bevölkerung empfohlenen Basisgrenzwerte sind in Tabelle 3.3, die Referenzwerte in Tabelle 3.4 aufgeführt. Dabei ist zu beachten, dass im Frequenzbereich ab 100 kHz bis 10 MHz zusätzlich die Grenzwerte für die SAR und für die im Gewebe induzierte elektrische Feldstärke (ICNIRP 1998) einzuhalten sind.

3.1 Empfehlungen der ICNIRP



Tab. 3.3 Basisgrenzwerte für elektrische und magnetische Wechselfelder

Frequenzbereich	Gewebe des zentralen Nerven- systems am Kopf	alle Gewebe von Kopf und Körper
interne elektrische Feldstärke (V/m)		
1 Hz-10 Hz	$0,1/f$	
10 Hz-25 Hz	0,01	
25 Hz-1.000 Hz	$0,0004 \cdot f$	0,4
1.000 Hz-3 kHz	0,4	
3 kHz-10 MHz	$0,000135 \cdot f$	$0,000135 \cdot f$

f: Frequenz in kHz

Quelle: nach ICNIRP 2010, S. 825

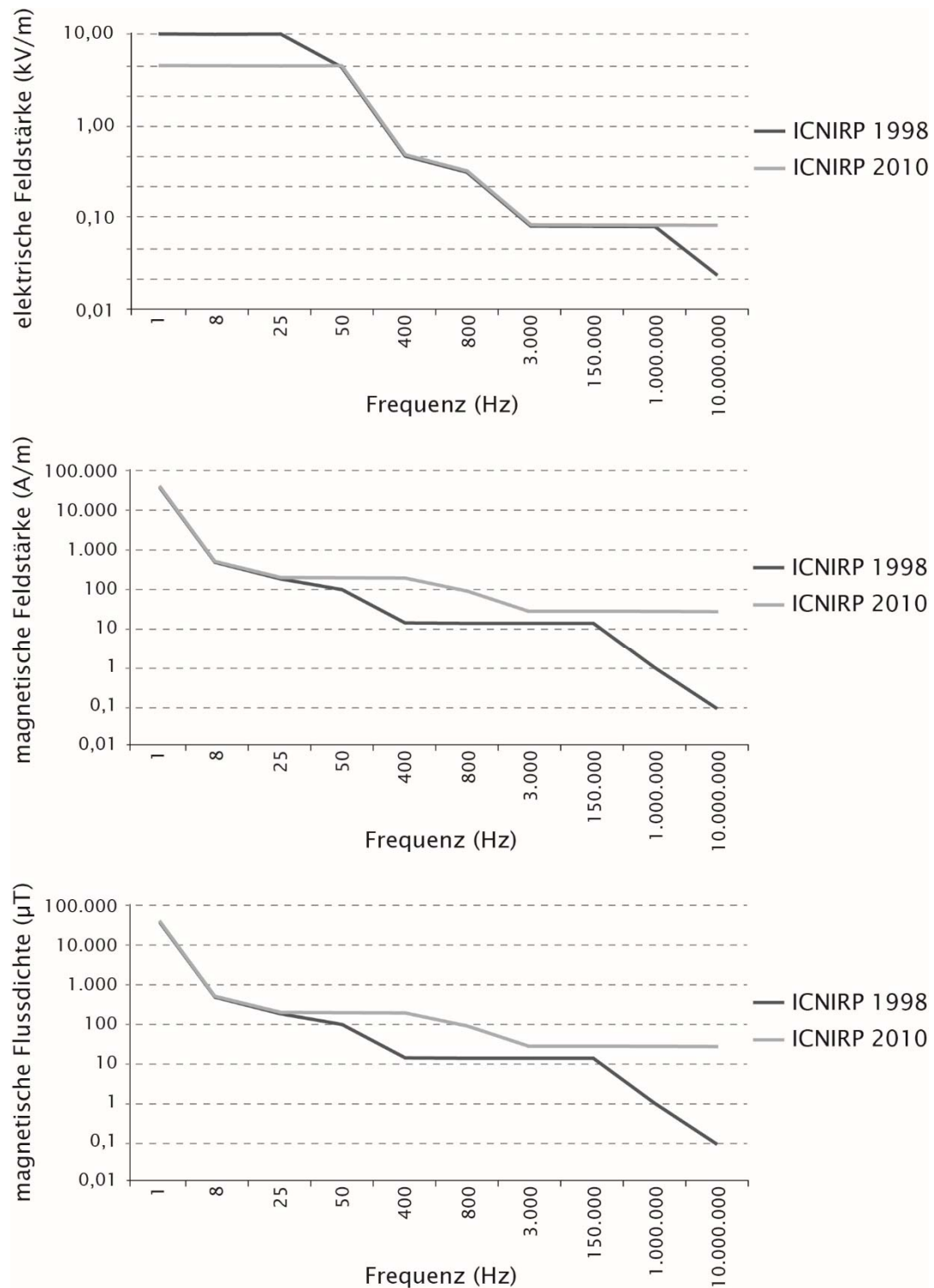
Tab. 3.4 Referenzwerte (ungestörte Mittelwerte) für elektrische und magnetische Wechselfelder

Frequenzbereich	elektrische Feldstärke (kV/m)	magnetische Feldstärke (A/m)	magnetische Flussdichte (T)
1 Hz-8 Hz	5	$32.000/f^2$	$0,04/f^2$
8 Hz-25 Hz		$4.000/f$	$0,005/f$
25 Hz-50 Hz		160	0,0002
50 Hz-400 Hz	$250/f$		
400 Hz-3 kHz		$64.000/f$	$0,08/f$
3 kHz-10 MHz	0,083	21	0,000027

f: Frequenz in Hz

Quelle: nach ICNIRP 2010, S. 827

Abb. 3.1 Vergleich der Referenzwerte der ICNIRP-Empfehlungen von 1998 und 2010



Quelle: Gröger et al. 2017, S. 39

Die Referenzwerte der Empfehlung von 2010 weichen zum Teil erheblich von denen der Empfehlung von 1998 ab. Dies verdeutlicht die Gegenüberstellung der Referenzwerte für die elektrische Feldstärke, die magnetische Feldstärke und die magnetische Flussdichte der beiden ICNIRP-Empfehlungen in Abbildung 3.1. Der Grund für die Aktualisierung war, dass im Jahr 1998 sich noch viele der Versuche zu gesundheitlichen Wirkungen auf die induzierte Stromdichte bezogen hatten, obwohl die elektrische Feldstärke im Hinblick auf die Beurteilung der Wirkungen relevanter ist. 2010 standen dann genügend Untersuchungen mit Bezug auf die induzierte elektrische Feldstärke zur Verfügung, sodass diese als Bezug genommen wurde. Für die Ableitung der Referenzwerte aus den Basisgrenzwerten wurden Computersimulationen auf der Basis detaillierter Körpermodelle verwendet, und nicht mehr die einfachen geometrischen Modelle, die der Ableitung im Jahr 1998 zugrunde lagen. Bei den Referenzwerten für die magnetische Feldstärke und die magnetische Flussdichte konnten auf diese Weise die relativ hohen Sicherheitsmargen verringert werden, was sich in deutlich höheren Referenzwerten ab 25 Hz zeigt. Auch mit diesen höheren Referenzwerten werden die wissenschaftlich nachgewiesenen adversen gesundheitlichen Effekte beim Menschen verhindert.

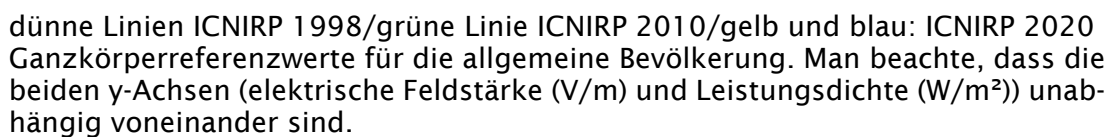
3.2 Update ICNIRP 2020

Im März 2020 hat die ICNIRP ein Update ihrer HF-EMF Richtlinien für den Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz publiziert. Es ersetzt die bisher gültigen Richtlinien von 1998 (ICNIRP 1998) und 2010 (ICNIRP 2010), soweit sie sich auf diesen Frequenzbereich beziehen. Das Update bezieht Fortschritte der wissenschaftlichen Erkenntnisse der letzten Jahre ein, sowohl bezüglich der biologischen bzw. gesundheitlichen Wirkungen von EMF als auch der Dosimetrie bzw. dem präziseren Verständnis bestimmter Expositionsszenarien. Damit soll die neue Richtlinie detailreicher, genauer und zukunftssicherer sein, gleichzeitig ist sie aber gegenüber den alten Richtlinien deutlich komplexer.²⁴

Gleich geblieben ist die Begründung für die Begrenzung der Exposition: im Frequenzbereich bis 10 MHz soll die Stimulation von Nerven und bei höheren Frequenzen die Erwärmung des Gewebes begrenzt werden. Über die thermischen Effekte von HF-EMF hinausgehende gesundheitliche Auswirkungen werden wie bisher als nicht hinreichend wissenschaftlich belegt angesehen, um daraus Restriktionen ableiten zu können. Dabei stützt sich die ICNIRP auf vorhandene Reviews der WHO (2014 Public Consultation Environmental Health Criteria Dokument), des SCENIHR (2015), des SSM (2015, 2016, 2018) sowie einiger

24 Präsentation des ICNIRP-Vorsitzenden Eric van Rongen <https://www.icnirS.org/en/activities/news/news-article/rf-guidelines-2020-published.html> (28.9.2020)

Für den vorliegenden Bericht resultiert nach Einschätzung des TAB aus den neuen Richtlinien kein Überarbeitungs- bzw. Änderungsbedarf.



25 <https://www.icnirS.org/en/differences.html> (28.9.2020)

3.3 Risikogovernance – Rolle der ICNIRP

Die Setzung von Grenzwerten, wie sie bereits beschrieben wurde, ist ein Ergebnis eines Risikogovernanceprozesses. In Deutschland und vielen Ländern weltweit ist die Strategie der Risikogovernance beim Thema mögliche Gesundheitsrisiken durch HF-EMF stark expertenzentriert. So werden die Festlegung der Rahmenbedingungen für die Risikobewertung, die Risikobewertung selbst und die Entscheidung darüber, welche EMF-Expositionen noch tolerierbar sind, faktisch ausschließlich einem wissenschaftlichen Expertengremium, der ICNIRP, überlassen. Die Belange möglicher Risikoträger und anderer, vor allem nichtwirtschaftlicher Interessengruppen werden formal erst im Rahmen der Umsetzung von Maßnahmen des Risikomanagements im Zuge eines Gesetzgebungsverfahrens einbezogen. Ein wesentliches Charakteristikum dieser Vorgehensweise ist, dass sich die Begründung für die Erforderlichkeit bzw. Angemessenheit der Regulierung unmittelbar und nur auf die wissenschaftliche Expertise des Expertengremiums stützt – was durchaus diskussionswürdig ist.

Die ICNIRP ist ein eingetragener Verein mit einem Sekretariat, das am Standort des BfS in Oberschleißheim angesiedelt ist. Die Finanzierung erfolgt über Beiträge nationaler und internationaler öffentlicher Institutionen (u. a. vom BMU, dem EU-Programm für Beschäftigung und soziale Innovation (EaSI), der International Radiation Protection Association (IRPA), der australischen Strahlenschutzbehörde (ARPANSA) sowie dem neuseeländischen Gesundheitsministerium (ICNIRP 2020, FN 1). Gemäß ihrer Satzung versteht sie sich als unabhängige, neutrale wissenschaftliche Kommission, die ihre Schlussfolgerungen und Empfehlungen ausschließlich auf etablierten wissenschaftlichen Prinzipien gründet (ICNIRP 2008). Von Kritikern wird allerdings bezweifelt, ob die ICNIRP für die ihr zugedachte Rolle ausreichend demokratisch legitimiert ist (BUND 2012, S. 15; Huss 2011, S. 9). Darüber hinaus werden Bedenken hinsichtlich möglicher Interessenkonflikte von Mitgliedern der ICNIRP geäußert (Bioinitiative Working Group 2012, S. 8; Hardell 2017) sowie Verflechtungen zwischen der ICNIRP und anderen Beratungsorganen²⁶

3.4 Grenzwerte in Deutschland

Grenzwerte für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder sind in Deutschland durch die 26. BImSchV festgelegt. In der Verordnung werden Anforderungen zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen und zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen bestimmt. Im hier interessierenden Bereich der hochfrequenten Felder werden die Errichtung und der Betrieb von ortsfesten Anlagen, die

26 <https://www.kumu.io/Investigate-Europe/das-experten-netzwerk> (24.2.2022)



3 Grenzwerte und Risikogovernance für elektromagnetische Felder

elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 9 kHz bis 300 GHz erzeugen (z. B. Funk- und Radaranlagen) geregelt (§ 1 26. BImSchV).

Die geltenden Grenzwerte für die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte (Anhang 1a u. 1b 26. BImSchV) im Bereich von 1 Hz bis 10 MHz entsprechen den Referenzwerten (ungestörte Mittelwerte) der ICNIRP-Empfehlung (2010) (Tab. 3.3). Die Grenzwerte für Frequenzen ab 100 kHz entsprechen den Referenzwerten (ungestörte Mittelwerte) der ICNIRP-Empfehlung (1998) (Tab. 3.4). Bei Frequenzen zwischen 100 kHz und 10 MHz müssen beide Grenzwerte eingehalten werden.

Darüber hinaus legt Anhang 3 26. BImSchV für gepulste Felder von Hochfrequenzanlagen Faktoren fest, über die der Spitzenwert der elektrischen und magnetischen Feldstärke bzw. Flussdichte nicht hinausgehen darf (Tab. 3.5).

Tab. 3.5 Faktoren und Bezugswerte zur Bestimmung der Grenzwerte für gepulste Felder

Frequenzbereich	Faktor	Bezugswerte			Referenz
		elektr. Feldstärke V/m	magn. Feldstärke μT	magn. Flussdichte A/m	
9 kHz – 100 kHz	1,5	83	27		Tab. YYY5
100 kHz – 1 MHz	$6,93 \cdot f^{0,664}$	87		$0,73/f$	Tab. YYY2
1 MHz – 10 MHz	$6,93 \cdot f^{0,664}$	$87/f^{0,5}$		$0,73/f$	Tab. YYY2
10 MHz – 400 MHz	32	28		$0,073$	Tab. YYY2
400 MHz – 2 GHz	32	$1,375 f^{0,5}$		$0,0037 f^{0,5}$	Tab. YYY2
2 GHz – 300 GHz	32	61		$0,16$	Tab. YYY2

f in MHz

Quelle: Anhang 3 26. BImSchV

Hochfrequente elektrische und magnetische Felder von (nicht ortsfesten) Endgeräten und kleinen Sendern, wie sie im häuslichen Bereich in Gebrauch sind, werden vom Geltungsbereich der 26. BImSchV nicht erfasst. Die Sicherheit von solchen Geräten wird in Deutschland in Produktnormen auf der Basis des Produktsicherheitsgesetzes geregelt. Soweit in diesen Normen auch eine Beurteilung der möglichen gesundheitlichen Wirkungen der elektrischen und magnetischen Felder erfolgt, wird dafür meist die Empfehlung des Rates 1999/519/EG herangezogen.



Ergänzend zum Instrument der Grenzwerte bzw. deren Festsetzung empfiehlt das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) aus grundsätzlichen Vorsorgeerwägungen vermeidbare Expositionen durch Schnurlostelefone mit DECT-Technik nach Möglichkeit zu reduzieren²⁷, auf den (möglichst niedrigen) SAR-Wert beim Kauf eines Handys zu achten sowie die individuelle Exposition soweit wie möglich zu senken. In Bezug auf die Handynutzung empfiehlt das BfS folgende Maßnahmen²⁸:

- › telefonieren mit Headset,
- › surfen im Internet und Abrufen von E-Mails möglichst nur bei gutem Mobilfunkempfang oder über WLAN,
- › manueller Abruf von E-Mails nur bei Bedarf,
- › Verzicht auf Abruf von E-Mails während des Telefonierens,
- › Einhaltung eines produktspezifischen Mindestabstands zwischen Körper und Tablet oder Smartphone, wenn sie am Körper getragen werden und Nutzung von Tragezubehör,
- › Einhaltung eines ausreichenden Abstands zwischen Körper und Smartphone beim Surfen im Internet,
- › Minimierung der Exposition von Kindern, in dem die Funktion »Datenverbindungen über Mobilfunk« auf dem Tablet oder Smartphone ausgeschaltet wird und die Nutzungsdauer des Geräts eingegrenzt wird.

3.5 Grenzwerte international

Die Weltgesundheitsorganisation WHO führt auf ihrer Website eine Übersicht der Grenzwerte für HF-EMF in 36 Ländern auf²⁹. Eine Gruppe von 23 Ländern orientiert sich im Wesentlichen an den ICNIRP Empfehlungen (Argentinien, Australien, Bahrain, Brasilien, Finnland, Frankreich, Deutschland, Iran, Malaysia, Neuseeland, Niederlande, Norwegen, Österreich, Peru, Philippinen, Sambia, Saudi-Arabien, Schweden, Südafrika, Südkorea, Tunesien, Vereinigtes Königreich, Zypern). Unter den Ländern, die abweichende Regelungen getroffen haben, befinden sich einzelne mit höheren Grenzwerten (etwa Japan). Auf der anderen Seite haben einige Länder teilweise deutlich strengere Grenzwerte erlassen, u.a. Belgien, Bulgarien, Chile, Griechenland, Israel, Italien, Kuba, Russische Föderation, Schweiz und Türkei. Allerdings sind die reinen Zahlenwerte oft nicht direkt miteinander vergleichbar, da sich die zugrunde gelegten Mess- bzw.

27 <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/quellen/schnurlos-festnetz/schnurlos-festnetz.html> (24.2.2022)

28 <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/mobilfunk/vorsorge/smartphone-tablet/smartphone-tablet.html> (24.2.2022)

29 [https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/indicator-groups/indicator-group-details/GHO/exposure-limits-for-radio-frequency-fields-\(public\)](https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/indicator-groups/indicator-group-details/GHO/exposure-limits-for-radio-frequency-fields-(public)) (30.3.2022)

Berechnungsverfahren, Rahmenbedingungen und Anwendungsbereiche z.T. deutlich unterscheiden.

Da in der öffentlichen Diskussion über mögliche strengere Grenzwerte in Deutschland oft die Schweiz als Beispiel genannt wird, wird die Herangehensweise der Schweiz hier kurz beschrieben: Rechtsgrundlage ist die Schweizer Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)³⁰. Die dort festgelegten Immissionsgrenzwerte folgen der Empfehlungen der ICNIRP für alle öffentlich zugänglichen Bereiche. Allerdings werden für Mobilfunk-Basisstationen zusätzlich Anlagengrenzwerte definiert, die etwa einem Zehntel des Grenzwerts in der ICNIRP-Empfehlung entsprechen. Sie basieren auf dem Vorsorgeprinzip des Schweizer Umweltschutzgesetzes und sind aufgrund technischer, betrieblicher und wirtschaftlicher Kriterien festgelegt worden. Sie begrenzen die Strahlung einer einzelnen Anlage und müssen dort eingehalten werden, wo sich Menschen während längerer Zeit aufhalten, etwa Wohnungen, Schulen, ständige Arbeitsplätze oder auch Kinderspielflächen (sogenannte Orte mit empfindlicher Nutzung – OMEN³¹). Dies bedeutet allerdings nicht, dass die Gesamtmission an diesen Orten um den Faktor 10 geringer ist, da ja mehrere Basisstationen an diesen Ort einstrahlen können. In der Konsequenz heißt dies auch, dass Mobilfunknetzbetreiber eine größere Anzahl an Basisstationen errichten müssen, um dieselbe Netzabdeckung zu erreichen, wenn durch die Anlagengrenzwerte die Sendeleistung reduziert werden muss.

30 Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)

31 Siehe etwa <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/fachinformationen/massnahmen-elektrosmog/orte-mit-empfindlicher-nutzung--omen-.html> (30.3.2022)

4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF

In diesem Kapitel wird eine Einordnung relevanter Forschungsarbeiten zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen und Risiken von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) vorgenommen. Dazu wurden von den Gutachtern G. Dürrenberger und J. Fröhlich der Schweizer Forschungsfoundation Mobilfunk (FSM) die Ergebnisse aus aktuellen nationalen und internationalen Forschungsprojekten gesichtet.³² Es wurde analysiert, ob relevante neue Erkenntnisse vorliegen, die substanziell die Diskussionen zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen bzw. Risiken der HF-EMF verändern könnten. Als Ausgangspunkt für die Analysen wurden die Befunde des 2008 zu Ende gegangenen Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms (DMF) gewählt. Der Fokus lag darauf herauszuarbeiten, welchen wissenschaftlichen Erkenntniszuwachs neuere Forschungsergebnisse (ab 2010) über die Ergebnisse des DMF hinaus erbracht haben.

Bei den folgenden Ausführungen handelt es sich um eine sprachlich überarbeitete, gekürzte und punktuell aktualisierte Version des Gutachtens der FSM (2017). In Kapitel 4.1 werden die Grundlagen der verwendeten Methodik vorgestellt. In Kapitel 4.2 wird die grafische Darstellung der Ergebnisse erklärt, die die Basis für die sich anschließende Diskussion darstellt. Daran anschließend stellt Kapitel 4.3 den Erkenntnisstand aus dem DMF als Ausgangspunkt für die weitere Analyse dar. Kapitel 4.4 und 4.5 bündeln die Ergebnisse der aktuellen nationalen und internationalen Forschungsprogramme, um den Erkenntniszuwachs gegenüber dem DMF herauszuarbeiten, enthalten Schlussfolgerungen und skizzieren den Forschungsbedarf vor dem Hintergrund des gegenwärtigen Wissensstandes.

Zum besseren Verständnis und zwecks einfacherer Lesbarkeit dieses Kapitels 4 sind umfangreiche Detaillierungsergebnisse und spezifische Aussagen aus den diversen internationalen Forschungsprogrammen und Projekten in einem speziellen Anhang (Kap. 8) zusammen mit einer Auflistung der relevanten Projekte und Literaturstellen (inklusive diesbezüglich aus dem Englischen, Französischen und Niederländischen übersetzten Originalzitaten) aufgeführt. Im Text wird jeweils auf die zugehörigen Bezüge in Kapitel 8 verwiesen.

Evidenz und zu berücksichtigende Kontextfaktoren

Die wissenschaftliche Beantwortung der Frage nach den »Gesundheitlichen Risiken des Mobilfunks« ist methodisch alles andere als trivial und eine abschließende Beweisführung für die Abwesenheit jeden in diesem Kontext relevanten

³² Stand Dezember 2017; das TAB hat punktuell Aktualisierungen vorgenommen.

Risikos ist per se nicht zu erwarten bzw. leisten. Aus diesem Grund sprechen Fachleute auch von einer perplexen wissenschaftlichen Ausgangssituation (Meskens 2019). Klar ist, dass es durchaus sehr unterschiedliche Sichtweisen und auch Herangehensweisen zur Interpretation und Bewertung der wissenschaftlich geklärten wie auch der ungeklärten Aspekte der gesundheitlichen Wirkungen von EMF gibt- und diese unterschiedlichen Einsichten und Ansichten haben ihre jeweilige Berechtigung. Klar ist auch, dass es nicht ausschließlich eine reine evidenzbasierte Betrachtungsweise ist, die zu einer politischen bzw. gesellschaftlichen Lösung dieser starken Interessen- und Wertekonflikte beim Problemfeld Mobilfunk führen kann.

Zu konstatieren ist, dass es Grenzen der Modellierbarkeit, Untersuchbarkeit, Reproduzierbarkeit, Validierbarkeit, Erklärbarkeit und (widerspruchsfreien) Interpretierbarkeit gibt. Es ist davon auszugehen, dass es letztlich nicht möglich ist, den Evidenzstand zu diesem Themenbereich (ausschließlich) wissenschaftlich zu diskutieren, sinnvoll an die Öffentlichkeit zu kommunizieren oder in politischen Entscheidungen heranzuziehen, ohne diese Kontextfaktoren zu berücksichtigen. Darauf verweisen die jahrelangen Erfahrungen aus vergangenen Debatten um den Mobilfunk (ITA 2020, S.23). Wird allein auf jenen Anteil der Evidenz fokussiert, der als wissenschaftlich bewiesen gilt, aber anderes ausklammert (u.a. inadäquate und limitierte Evidenz, Hinweise, Wirkhypothesen ohne Evidenz, möglicher Bias), kann dies zur weiteren aufgeladenen Politisierung des Themas führen mit massiven Sekundäreffekten wie Emotionalisierung, Kommunikationsdefiziten, Lagerbildungen, Misstrauen und fehlender Transparenz (Kastenhofer 2015) und die Debatte jeder nachträglichen Rationalisierung entziehen.

4.1 Methodik

4.1.1 Studienbasis

Für die Bewertung der neueren wissenschaftlichen Erkenntnisse zu HF-EMF analysierte die FSM (2017) Publikationen von Forschungsprogrammen ausgewählter europäischer Länder (inklusive der EU) ab dem Jahr 2010. Folgende Länder bzw. Programme wurden dabei berücksichtigt:

- › Deutschland: Das DMF-Programm und Nachfolgeaktivitäten;
- › Frankreich: Das PNREST-Programm³³;

33 PNREST: Programme National de Recherche Environnement-Santé-Travail, durchgeführt von der französischen Agentur für Lebensmittel-, Umwelt- und Arbeitsschutz bzw. -sicherheit (ANSES, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail)



- › Niederlande: Das EMF&H-Programm (Laufzeit 2006–2019) der niederländischen Organisation für Gesundheitsforschung und Pflegeinnovation (ZonMW);
- › Schweiz: Das zwischen 2006 und 2010 durchgeführte Nationale Forschungsprogramm NFP57 und durch die FSM (Forschungstiftung Strom und Mobilkommunikation) geförderte Projekte (seit 2002);
- › EU: im Zuge des 7. Forschungsrahmenprogramms (FP7, 2007–2013) geförderte Projekte. Hinzu kommen EFHRAN, ein Projekt aus dem 2. Gesundheitsprogramm (2008–2013),³⁴ sowie Aktivitäten des SCENIHR³⁵ (ein von der EU-Kommission eingesetztes wissenschaftliches Beratungsgremium zu neu entstehenden und neu identifizierten Gesundheitsrisiken (bis März 2016)).

Ergänzend dazu wurden über 250 wissenschaftliche Publikationen (mehrheitlich ab dem Erscheinungsjahr 2010) aus anderen Regionen zusammengetragen. Die Publikationsliste der Studienbasis ist in Kapitel 8.1.3 dokumentiert.

Die Auswahl der Publikationen orientierte sich an den Literaturlisten der Reviewberichte des SCENIHR (2015), des wissenschaftlichen Beirats der schwedischen Strahlenschutzbehörde SSM im Zeitraum 2009 bis 2016 (SSM's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields 2009, 2010; SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields 2013, 2014, 2015, 2016), sowie der beratenden Expertengruppe BERENIS des Schweizer Bundesamtes für Umwelt (BAFU)³⁶.

4.1.2 Studienqualität

Für die Bewertung möglicher gesundheitlicher Auswirkungen der EMF-Exposition von Menschen kommen nur Studien in Betracht, die bestimmte Mindeststandards der wissenschaftlichen Qualität erfüllen. Dies ist auch bei Arbeiten, die in Fachzeitschriften mit Peer-Review-Verfahren publiziert werden, nicht immer der Fall.

Deshalb wurden die für den vorliegenden Bericht herangezogenen Fachartikel von den Gutachtern der FSM in qualitativer Hinsicht beurteilt, mit dem Ziel, Arbeiten minderer Qualität auszuschließen. Aufgrund der Vielzahl der Publikationen und des begrenzten Zeit- und Kostenrahmens des TA-Projekts war eine

34 EFHRAN: European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure

35 SCENIHR: Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks

36 Seit 2014 sichtet BERENIS im Auftrag des BAFU neu publizierte wissenschaftliche Arbeiten zum Thema und bewertet diejenigen davon, die aus ihrer Sicht für den Schutz des Menschen von Bedeutung sind oder sein könnten. Die Ergebnisse werden vierteljährlich in Form eines Newsletters publiziert (abrufbar unter: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/newsletter/beratende-expertengruppe-nis-berenis.html> (28.9.2020)).

^
 > 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF
 v

umfassende, systematische Analyse der wissenschaftlichen Qualität aller einzelner Studien nicht leistbar. Daher wurde eine vergleichsweise grobe Einteilung in »akzeptable« und »ungenügende« Studien vorgenommen. Ungenügende Qualität wurde Studien zugesprochen, die (mindestens) eines der folgenden Kriterien erfüllen:

- > Es werden keine Angaben zum Studienprotokoll³⁷ und/oder Dosimetrie gemacht.
- > Die dosimetrische Charakterisierung ist ungenügend bzw. nicht der Fragestellung angepasst (z. B. fehlende Angaben zu organspezifischen Expositionen).
- > Es wird keine Scheinbedingung eingesetzt (z. B. Scheinexposition bzw. Kontrollgruppen bei Humanstudien).
- > Es wird nicht verblindet (insbesondere bei Humanstudien).

Bei diesem Vorgehen handelt es sich um einen pragmatischen Ansatz mit dem primären Ziel, das Gros der qualitativ minderwertigen Arbeiten aus der weiteren Analyse auszuschließen. Dieses Vorgehen ist gängige Praxis bei internationalen Beratungsgremien. So schreibt etwa der schwedische Scientific Council on Electromagnetic Fields (2016, S. 18): »There are an increasing number of low quality studies which are uninformative for health risk assessment. [...] As in previous years, a number of studies had to be excluded from the analysis. Most of them provided no or incomplete dosimetric information, or failed to include sham-exposed controls. Without dosimetric information, any effects cannot be related to an exposure level and without a sham-exposed group it is not possible to attribute any effects to the actual EMF exposure. Studies lacking this information are a waste of money and effort and should not have passed the peer-review system.«³⁸

Ein gewisser Ermessensspielraum der Gutachter der FSM ist dabei unvermeidbar. Insgesamt wurden für diesen Bericht etwa 330 in wissenschaftlichen Zeitschriften publizierte Artikel hinsichtlich ihrer Qualität bewertet. Etwa 120 (ca. 36 %) wurden als qualitativ ungenügend beurteilt.³⁹

37 Im Studienprotokoll sind die wichtigsten Merkmale (Ziele, experimentelle Vorgehensweise, Auswertemethoden etc.) festgehalten. Diese müssen so detailliert beschrieben sein, dass sie im Prinzip eine Replizierung der Studie ermöglichen.

38 Es gibt eine steigende Anzahl von Studien schlechter Qualität, die für die Bewertung von Gesundheitsrisiken nicht aussagekräftig sind [...]. Wie in den Vorjahren musste eine Vielzahl von Studien von der Analyse ausgeschlossen werden. Die meisten von ihnen lieferten keine oder unvollständige dosimetrische Informationen oder enthielten keine scheinexponierten Kontrollen. Ohne dosimetrische Informationen können Auswirkungen nicht auf Expositionsniveaus bezogen werden und ohne scheinexponierte Kontrollgruppe ist es nicht möglich, Effekte auf eine tatsächliche EMF-Exposition zurückzuführen. Studien, bei denen diese Informationen fehlen, sind eine Verschwendung von Geld und Mühe und hätten nicht durch das Peer-Review-System hindurchkommen dürfen.

39 In der Aufstellung der Studienbasis in Kapitel 8.1.3 sind diese durch kursive Schrifttype kenntlich gemacht.

Keiner eigenen Qualitätsprüfung unterzogen wurden die Studien, die im Rahmen des DMF-Programms durchgeführt wurden, da diese als Beurteilungsbasis für die Bewertung des seitdem erzielten Wissensfortschritts dienen. Darüber hinaus wurden auch Publikationen nicht geprüft, bei denen es sich nicht um primäre Fachpublikationen handelt, also insbesondere Übersichtsartikel, Reviews, Projektberichte sowie Berichte von Experten- und Beratungsgremien.

4.1.3 Evidenzbewertung

Zur Charakterisierung, wie sich die wissenschaftliche Beweislage bzw. das Maß an Unsicherheit des Wissens bei einem untersuchten Sachverhalt darstellt, wurde ein Klassifikationssystem verwendet, das sich an die von der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) verwendeten Bewertungskategorien anlehnt (IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 2013, 27 ff.). Die verwendeten Kategorien und ihre Bedeutung sind in Tabelle 4.1 aufgeführt und erläutert. Die in der Tabelle verwendete Farbgebung der Zellen wird im gesamten Bericht in den tabellarischen Übersichten zur besseren Orientierung genutzt.

Tab. 4.1 Bewertungskategorien für die Risikoabschätzung

Kategorie	Verwendung im Bericht	ergänzende Erklärung
ausreichend nachgewiesen	Die vorliegende(n) Arbeit(en) ist (sind) von guter Qualität und weist (weisen) auf einen Effekt hin.	Üblicherweise gilt ein Effekt nur dann als wissenschaftlich nachgewiesen, wenn er durch mehrere Studien bestätigt worden ist, keine qualitativ gut gemachten Studien dagegensprechen und ein plausibler Wirkmechanismus vorliegt.
limitiert nachgewiesen	Die vorliegende(n) Arbeit(en) weist (weisen) auf einen Effekt hin. Die Aussagekraft ist aber nicht über jeden Zweifel erhaben. Eine ursächliche Beziehung kann nicht nachgewiesen werden.	
inadäquat nachgewiesen	Die Studie(n) ist (sind) zu wenig aussagekräftig und/oder widersprüchlich für eine seriöse bzw. aussagekräftige Beurteilung.	Diese Kategorie wird auch für Endpunkte (untersuchte Effekte) verwendet, für die nur einzelne oder sehr wenige Studien ungenügender Qualität vorliegen.

^
 > 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF
 v

kein Effekt nachgewiesen	Die vorliegende(n) Studie(n) ist (sind) von guter Qualität und weist (weisen) auf keinen Effekt hin.	Es ist wissenschaftlich unmöglich, die Abwesenheit eines Effekts zu beweisen. Liegen genügend viele seriöse Studien vor, die auf keine Effekte hinweisen, dann wird dies als ausreichend erachtet, die Abwesenheit des Effekts anzunehmen.
keine Aussage	Der Endpunkt wurde nicht untersucht oder bewertet.	

Quelle: FSM 2017, 15 f.

Evidenzeinschätzungen sind nie streng objektiv, sondern hängen zu einem gewissen Grad von persönlichen oder institutionellen Bewertungspräferenzen ab. Das gilt vor allem dann, wenn nicht eine einzelne Studie beurteilt wird, sondern ein Studienkollektiv, das mehr oder weniger heterogene Befunde aufweist. Wie unterschiedlich die Bewertungen derselben wissenschaftlichen Sachverhalte durch verschiedene Institutionen ausfallen können, zeigt anschaulich eine Gegenüberstellung durch Högg und Dürrenberger (2017) (Tab. 4.2).

In Tabelle 4.2 sind 14 Organisationen aufgeführt, die Risikobewertungen im Bereich möglicher gesundheitlicher Wirkungen von HF-EMF auf Menschen vornahmen. Deren Bewertungen hinsichtlich der Endpunkte Krebs, Kardiovaskuläre Effekte, Neurodegeneration, Reproduktion/Entwicklung, EEG, Kognition, Hormone/Stress, Elektrosensibilität/Schlaf sowie Blut-Hirn-Schranke wurden nach einem einheitlichen Schema kategorisiert und gegenübergestellt. Es ist deutlich zu sehen, die Einschätzungen bei bestimmten Endpunkten teilweise stark divergieren. Beispielsweise konstatieren bei Krebs die SSK, SCENIHR, ICNIRP, WHO und BfS »kein gesundheitlicher Effekt nachgewiesen« wohingegen die BioInitiative, Kompetenzinitiative, Ecolog sowie diagnose:funk aus derselben Studienbasis folgern, dass ein »Effekt ausreichend nachgewiesen« sei.

Tab. 4.2 Wirkung auf die Gesundheit des Menschen

Wirkung auf Gesundheit des Menschen	Organisationstyp	Krebs	Kardiovaskuläre Effekte	Neurodegeneration	Reproduktion/Entwicklung	EEG	Kognition	Hormone / Stress	Elektrosensibilität / Schlaf	Blut-Hirn-Schranke
SSK	W									
SCENIHR	W									
ICNIRP	W									
IARC	W									
dkfz	W									
Biolinitiative	W									
WHO	S									
LUBW & LfU	S									
BfS	S									
Kompetenzinitiative	Z									
IZMF	Z									
Ecolog	Z									
Diagnose:Funk	Z									
BUND	Z									

W ← Wissenschaft
 S ← Staatliche Organisation
 Z ← Zivilgesellschaft

← Keine Aussage
 ← Kein gesundheitlicher Effekt nachgewiesen
 ← Effekt ist inadäquat nachgewiesen (*)
 ← Effekt ist limitiert nachgewiesen
 ← Effekt ist ausreichend nachgewiesen

(* Studienlage widersprüchlich, Studien nicht aussagekräftig, zu wenige Studien für seriöse Aussage)

Quelle: (Högg und Dürrenberger 2017, S. 5)

Bei den Institutionen handelt es sich um:

- > SSK: Die Strahlenschutzkommission (SSK) berät das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) in allen Angelegenheiten des Schutzes vor ionisierenden und nichtioni-

^
› 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF
v

sierenden Strahlen. Die Mitgliedschaft in der Strahlenschutzkommission ist ein persönliches Ehrenamt. Die Mitglieder der Kommission werden durch das BMUV berufen, sind unabhängig und nicht an Weisungen gebunden.⁴⁰

- › SCENIHR: Das Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks fungierte von 2004 bis 2016 als unabhängiges wissenschaftliches Beratungsgremium im Auftrag der EU-Kommission. SCENIHR gab einige Risikobewertungen von EMF heraus, sogenannte Opinions, die letzte im Jahr 2015.⁴¹
- › ICNIRP: Die International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection nimmt eine herausgehobene Stellung ein, da sie Richtlinien zur Begrenzung der Exposition durch HF-EMF herausgibt, die von Deutschland und vielen weiteren Ländern als Grundlage bei der Grenzwertsetzung herangezogen werden. Die ICNIRP versteht sie sich als unabhängige, neutrale wissenschaftliche Kommission (ICNIRP 2008). Von Kritikern wird allerdings bezweifelt, ob sie für die ihr zugedachte Rolle ausreichend demokratisch legitimiert ist (BUND 2012, S. 15; Huss 2011, S. 9).
- › IARC: Die International Agency for Research on Cancer ist die internationale Krebsforschungsagentur der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Ihrer Zielsetzung gemäß hat sich die IARC nur zum Krebsrisiko und nicht zu weiteren möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF geäußert (HF-EMF wurden als »möglicherweise kanzerogen« klassifiziert)
- › DKFZ: Das Deutsche Krebsforschungszentrum widmet sich als größte biomedizinische Forschungseinrichtung in Deutschland der Aufgabe, Krebsforschung zu betreiben.⁴²
- › BioInitiative: Bei der BioInitiative Working Group handelt es sich um eine Gruppe von 29 Wissenschaftler/innen und Gesundheitsfachleuten, die den Schlussfolgerungen offizieller Institutionen zur Risikobewertung kritisch gegenüberstehen⁴³. 2007 wurde ein Bericht publiziert, in dem Gesundheitsrisiken der HF-EMF analysiert wurden, das letzte Update erfolgte im Jahr 2020. Dieser Bericht wird von einigen Gremien (etwa dem BfS⁴⁴ oder dem Health Council of the Netherlands⁴⁵) als nicht objektiv und unausgewogen kritisiert⁴⁶.

40 https://www.ssk.de/DE/Home/home_node.html (1.3.2022)

41 https://ec.europa.eu/health/publications/potential-health-effects-exposure-electromagnetic-fields-emf_en (1.3.2022)

42 <https://www.dkfz.de/de/dkfz/index.html> (1.3.2022)

43 <https://bioinitiative.org/> (1.3.2022)

44 <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/berichte/berichte-emf/bioinitiative.html> (1.3.2022)

45 <https://www.healthcouncil.nl/documents/advisory-reports/2008/09/02/bioinitiative> (1.3.2022)

46 https://ipfs.fleek.co/ipfs/QmXoypizjW3WknFiJnKLwHCnL72vedxjQkDDP1mXWo6uco/wiki/BioInitiative_Report.html (28.9.2020)



- › WHO: Die Weltgesundheitsorganisation der Vereinten Nationen hat die Mission, die internationale Koordination des öffentlichen Gesundheitswesens zu befördern. Eine für 2016 angekündigte formale Risikobewertung von EMF wurde bis dato nicht erstellt.
- › LUBW & LfU: Die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg sowie das Bayerische Landesamt für Umwelt haben eine gemeinsame Risikobewertung durchgeführt und publiziert (LUBW und LfU 2017).
- › BfS: Das Bundesamt für Strahlenschutz ist eine selbstständige wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesumweltministeriums. Es bündelt Kompetenzen im Bereich des Strahlenschutzes.⁴⁷
- › Kompetenzinitiative: Die Kompetenzinitiative zum Schutz von Mensch, Umwelt und Demokratie ist eine internationale, interdisziplinäre und überparteiliche Fachvereinigung insbesondere von Wissenschaftler/innen, Ärzten, Jurist/innen und Techniker/innen. Sie engagiert sich für einen zeitgemäßen Gesundheits- und Umweltschutz vor allem auf dem Gebiet des Mobil- und Kommunikationsfunks.⁴⁸
- › IZMF e.V.: Das Informationszentrum Mobilfunk hat seine Tätigkeit zum 31. Dezember 2015 eingestellt. Die gleichlautende Onlineplattform⁴⁹, die von Telekom Deutschland, Telefónica Germany, Vodafone und 1&1 Mobilfunk unterstützt wird, führt dessen Arbeit weiter.
- › Ecolog: Das ECOLOG-Institut ist eine gemeinnützige interdisziplinäre Forschungseinrichtung, die den gesellschaftlichen Prozess des Übergangs zu einer nachhaltigen Entwicklung durch wissenschaftliche Analysen, Beratung und Bildung begleitet und unterstützt.⁵⁰
- › Diagnose:funk: diagnose:funk ist eine Umwelt- und Verbraucherschutzorganisation. Erklärtes Ziel ist es, über gesundheits- und umweltschädigende Wirkungen elektromagnetischer Felder aufzuklären.⁵¹
- › BUND: Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) ist einer der großen Umweltverbände Deutschlands.⁵²

Das TAB und seine Gutachter/innen sind einer wissenschaftlich evidenzbasierten Herangehensweise verpflichtet. Was daraus für die Bewertung und Einordnung von Befunden folgt, wird im Folgenden exemplarisch durchdekliniert (FSM 2017, S. 17).

47 https://www.bfs.de/DE/bfs/wir/wir_node.html (1.3.2022)

48 <https://kompetenzinitiative.com/ueber-uns/#initiative> (1.3.2022)

49 www.informationszentrum-mobilfunk.de

50 <https://www.ecolog-institut.de/> (1.3.2022)

51 www.diagnose-funk.org (1.3.2022)

52 <https://www.bund.net/ueber-uns/> (1.3.2022)

4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF

Angenommen zu einer bestimmten gesundheitlichen Auswirkung einer EMF-Exposition liegt genau eine (konsistent reproduzierbare) Studie vor. Diese kann von hoher, mittlerer oder tiefer Aussagekraft (beispielsweise aufgrund der Untersuchung einer großen, mittleren bzw. kleinen Stichprobe) sein und einen Effekt entweder zeigen, unklar sein oder aber den Effekt nicht zeigen. Wissenschaftlich evidenzbasiert gilt der Effekt nur dann als nachgewiesen, wenn die Studie von hoher Qualität ist und diesen Effekt aufzeigt (rotes Feld in Abb. 4.1). Wenn die Studie von hoher Qualität ist und den Effekt nicht findet, wird daraus geschlossen, dass der Effekt nicht vorliegt (grünes Feld). Ist die Studie von mittlerer Qualität und belegt den Effekt klar, dann ist der Effekt limitiert nachgewiesen (blaues Feld). In allen anderen Fällen ist die Evidenz des Effektnachweises inadäquat (gelbe Felder).

Abb. 4.1 Wissenschaftlich evidenzbasierte Bewertung

		Aussagekraft		
		hoch	mittel	tief
Effekt	ja			
	unklar			
	nein			

Quelle: FSM 2017, S. 17

In Politik und Alltag werden häufig andere Bewertungsmaßstäbe angelegt (Abb. 4.2). Lässt man sich etwa vom Vorsorgeprinzip leiten, dann kann man eine Arbeit hoher Qualität, die zwar keinen statistisch signifikanten Effektnachweis erbracht hat, aber z.B. ein erhöhtes relatives Risiko zeigt, als limitierte Evidenz für einen Effekt werten (links oben). Ein Bewertungsschema, das der Argumentation folgt, dass vor der Einführung einer neuen Technologie deren Unbedenklichkeit nachgewiesen sein muss zeigt die Tabelle Unbedenklichkeitsnachweis (links unten). Hier würden Studien mit mittlerer Qualität, die einen Effekt zeigen, sowie Studien hoher Qualität, die in ihren Aussagen unklar bleiben, als Beleg für die Existenz des Effekts gewertet.

In der gesellschaftlichen bzw. politischen Auseinandersetzung um mögliche Risiken werden Studienaussagen zuweilen nicht nur wertebedingt (Vorsorge-sicht, Unbedenklichkeitssicht) unterschiedlich interpretiert, sondern zuweilen auch willentlich falsch aufgefasst. In Abbildung 4.2 (rechts) findet sich dazu ein Beschönigungs- und ein Alarmismusschema.

Abb. 4.2 Andere Bewertungsmaßstäbe

Politisch: vorsorgeorientiert					Willentliche Beschönigung				
		Aussagekraft					Aussagekraft		
		hoch	mittel	tief			hoch	mittel	tief
Effekt	ja				Effekt	ja			
	unklar					unklar			
	nein					nein			

Politisch: Unbedenklichkeitsnachweis					Willentlicher Alarmismus				
		Aussagekraft					Aussagekraft		
		hoch	mittel	tief			hoch	mittel	tief
Effekt	ja				Effekt	ja			
	unklar					unklar			
	nein					nein			

Quelle: FSM 2017, S. 17

4.1.4 Die Evidenzmatrix

Zur Analyse und Bewertung der wissenschaftlichen Erkenntnisse zu möglichen gesundheitlichen Wirkungen von HF-EMF wird in diesem Bericht von der von der FSM (2017) entwickelten Evidenzmatrix Gebrauch gemacht. Diese gliedert das Forschungsfeld zum einen hinsichtlich der eingesetzten Studienansätze bzw. *Studientypen* (d. h. Humanstudien, Tierstudien und Zellstudien) und zum anderen in Bezug auf die diskutierten gesundheitlichen Fragestellungen (*Endpunkte* der Forschung). Diese Herangehensweise erlaubt eine differenzierte Darstellung des Erkenntnisstands und spezifische Aussagen zur wissenschaftlichen Risikoeinschätzung.

4.1.4.1 Studientypen

Humanstudien

Studien an bzw. mit Menschen haben die höchste Wertigkeit in Bezug auf die Bewertung eines möglichen gesundheitlichen Risikos. Humanstudien wurden in drei Kategorien eingeteilt, die sich jeweils hinsichtlich ihrer Aussagen für die Risikobewertung unterscheiden. Zunächst gibt es Studien, die *biologische Effekte* thematisieren und keine Aussagen hinsichtlich Gesundheit machen bzw. machen können, etwa weil die Effekte innerhalb der natürlichen physiologischen Schwankungen und Toleranzen liegen. Studien, welche gesundheitliche Effekte (positive oder negative) thematisieren, wurden zweigeteilt: zum einen Arbeiten, bei denen es um *akute Wirkungen* geht. Typischerweise handelt es sich dabei um Humanexperimente im Labor. Zum anderen Studien, welche *chronische Wirkungen*

^
› 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF
v

thematisieren, insbesondere als Folge von Langzeitexposition. Typischerweise sind dies epidemiologische Arbeiten.

Tierstudien

Mit Tierstudien können Fragestellungen untersucht werden, die in Humanexperimenten aus ethischen oder praktischen Gründen nicht durchgeführt werden können, etwa sehr starke Expositionen, Studien mit Ungeborenen oder Kleinkindern, kontrollierte Langzeitexpositionen, oder die Analyse von Gewebeproben aus Organen nach Expositionen. Die direkte Übertragbarkeit vom Tiermodell auf den Menschen darf allerdings aufgrund von physiologischen und anderen Unterschieden nicht einfach vorausgesetzt werden; dementsprechend schmälert dies die Aussagekraft von Tierstudien hinsichtlich gesundheitlicher Risiken für den Menschen.

Zellstudien

Die Bedeutung von Zellstudien (häufig als In-vitro-Studien bezeichnet) liegt bei der Identifizierung bzw. dem Nachweis von Wirkmechanismen. Ist ein Wirkmechanismus experimentell bestätigt worden, dann können beispielsweise statistisch knapp signifikante epidemiologische Resultate ein grösseres Gewicht in der Risikoeinschätzung erhalten. Sodann erlaubt die Kenntnis von Wirkmechanismen die gezielte Erforschung von möglichen Gesundheitsrisiken (kritische Dosen, potenzielle Erkrankungen, gesundheitspolitische Relevanz).

4.1.4.2 Endpunkte

Als Endpunkte werden bestimmte gesundheitliche Auswirkungen bzw. Krankheitsbilder bezeichnet, deren mögliches Auftreten im Zusammenhang mit der Exposition mit HF-EMF wissenschaftlich untersucht wird. Im Folgenden werden die in diesem Bericht verwendeten Endpunkte kurz charakterisiert.

Krebs

Das Hauptaugenmerk der gesundheitsorientierten EMF-Forschung liegt auf dem Krebsrisiko. Im hochfrequenten Bereich stehen vor allem Tumore im Kopf- und Nackenbereich im Fokus. Diese werden vor allem im Zusammenhang mit der Mobiltelefonnutzung untersucht. Vereinzelt gibt es auch Studien zum Krebsrisiko im Umfeld von Mobilfunkbasisstationen. Aufgrund der im Vergleich zur Belastung durch ein nah am Körper genutztes mobiles Endgerät deutlich geringeren Exposition ist hier das Forschungsinteresse allerdings weniger ausgeprägt. Sodann wird seit einigen Jahren verstärkt das Risiko von Kindern und



Jugendlichen untersucht. Auch hier liegt das Interesse primär bei der Nutzung der Endgeräte und folglich beim Tumorrisiko im Kopf- bzw. Nackenbereich.

Aufgrund der Publikationslage wurden zu diesem Endpunkt drei Unterkategorien gebildet: Tumore im Kopfbereich (Nacken inbegriffen), Tumore bei Kindern, andere Tumore.

Neurodegenerative Erkrankungen

Dazu zählen alle Erkrankungen, die im Zusammenhang mit der Degeneration von Neuronen (Nervenzellen) stehen, insbesondere die Alzheimer-Krankheit und andere Formen der Demenz, amyotrophe Lateralsklerose (ALS), Multiple Sklerose (MS) und die Parkinson-Krankheit. Die Vermutung, dass EMF das Risiko für neurodegenerative Erkrankungen erhöhen könnte, wurde zuerst im Zusammenhang mit Magnetfeldern der Stromversorgung (Haushalte, Stromnetze etc.) untersucht. Im Zusammenhang mit hochfrequenten Feldern des Mobilfunks liegen erst wenige Studien (vor allem Tierstudien) vor.

Fertilität

In der Forschung ist auch der Befürchtung nachgegangen worden, dass HF-EMF die Fruchtbarkeit (Fertilität) negativ beeinflussen könnten. Neben in aller Regel wenig aussagekräftigen und robusten Studien mit menschlichen Probanden sind dazu primär Tierversuche unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt worden.

Entwicklung

Zur Frage, ob die Entwicklung eines Kindes im Mutterleib durch HF-EMF Exposition (von Mutter und Fötus) negativ beeinflusst wird, liegen Laborstudien mit Tieren (Ratten, Mäuse) vor, sowie einige Humanstudien, in denen die vorgeburtliche Exposition erhoben und Zusammenhänge mit Entwicklungsstörungen untersucht wurden. In diese Kategorie mit einbezogen wurden auch Arbeiten, welche sich mit dem Verlauf von Schwangerschaft und Geburt im Hinblick auf HF-EMF Exposition beschäftigt haben.

Kardiovaskuläres System

Unter diesem Endpunkt sind Untersuchungen zum Einfluss von HF-EMF auf das Kreislaufsystem sowie auf Blutparameter zusammengefasst. Dazu gehören auch Untersuchungen zum regionalen Blutfluss im Gehirn, die dank bildgebender Verfahren zunehmend attraktiv geworden sind. Obwohl der Bereich recht verschiedene Aspekte umfasst (von Messungen der Herzfrequenzvariabilität bis zum Erfassen des Sauerstoff- oder Zuckergehaltes des Blutes in einzelnen

^ › 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF v

Hirnregionen), wurde er aufgrund der beschränkten Anzahl verfügbarer Studien nicht weiter unterteilt.

EEG

Eine ganze Reihe von Studien hat den Einfluss von HF-EMF auf das Gehirn mithilfe des Elektroenzephalogramms (EEG), der Aufzeichnung von Hirnströmen, untersucht. Weil das EEG, insbesondere im Schlaf, typische und auch recht stabile (reproduzierbare) Muster aufweist, sollten sich mögliche Effekte der HF-EMF durch eine Analyse der Hirnstromsignale in den EEG-Aufzeichnungen erkennen lassen. Analog wurde auch das Wach-EEG studiert. Kleinere Auffälligkeiten im EEG sind in ihrer gesundheitlichen Bedeutung, sofern sie eine solche haben, nur schwer interpretierbar.

Kognition

Viele Forschungsarbeiten sind der Frage nachgegangen, ob sich Denkleistungen (kognitive Funktionen, etwa Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Reaktionsvermögen) unter HF-EMF Exposition verändern. Das wurde primär in kontrollierten Laborsettings mit Standardtests untersucht, oft auch zusammen mit EEG-Messungen. Mit in diese Kategorie eingeschlossen sind Verhaltensstudien mit Tieren (z.B. Suchverhalten in Labyrinthen). Der Endpunkt enthält als eigene Kategorie die Rubrik »Kinder«, um die (wenigen vorliegenden) Resultate von Untersuchungen zur Kognition bei Kindern separat aufführen zu können.

Schlaf

Hier geht es um Studien, die sich mit der Wirkung von HF-EMF auf den Schlaf befassen. Bei den konkreten Endpunkten handelt es sich sowohl um objektive Parameter (z.B. solche zur Schlafarchitektur, wie sie sich in EEG-Aufzeichnungen zeigt) als auch um das subjektive Schlafempfinden. Obwohl nur wenige Studien zu Kindern vorliegen (vergleichbar mit dem Endpunkt Kognition) wurde auch hier die Subkategorie »Kinder« gebildet.

Unspezifische Symptome/Elektrosensibilität

Dieser Endpunkt ist einer der meist untersuchten. Als unspezifische Symptome werden Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Müdigkeit, Konzentrationsschwächen, diffuse Schmerzen und ähnliches bezeichnet. Von Elektrosensibilität (oder: elektromagnetischer Hypersensibilität – EHS) spricht man, wenn Betroffene bei solchen unspezifischen Symptomen elektromagnetische Felder als Ursache der Beschwerden verantwortlich machen. EHS ist deshalb keine objektive, medizinische Diagnose, sondern eine Selbstzuschreibung der Patientinnen und Patienten.



Die Heterogenität des Symptombildes ist groß. Dem Endpunkt wurden die Subkategorien »Kinder« und »Nozeboeffekt« zugeordnet. Mit letzterem sind Studien angesprochen, welche die Überzeugung von Betroffenen, dass EMF schädlich sind, als mögliche Ursache der Symptome mitberücksichtigen. Naturgemäß sind zu diesem Endpunkt keine Tier- oder Zellstudien verfügbar.

Hormone/Drüsen

Vergleichsweise wenige Arbeiten liegen zum Einfluss von HF-EMF auf das Hormonsystem vor. Die in diesem Zusammenhang am häufigsten untersuchten bzw. in der Öffentlichkeit diskutierten Hormone sind Stresshormone (vor allem Hitze-stress) und Melatonin. In Zellstudien wurden sodann für Hormonausschüttungen typische Protein- und Genexpressionen untersucht. Der Endpunkt enthält deshalb »Melatonin« und »Stressproteine/Genexpression« als Unterpunkte.

Blut-Hirn-Schranke

Die Blut-Hirn-Schranke ist eine physiologische Barriere zwischen dem Blutkreislauf und dem Nervengewebe des Gehirns. Sie schützt das Gehirn vor im Blutkreislauf zirkulierenden Krankheitserregern oder toxischen Stoffen, und sie reguliert auch den Nährstoffhaushalt des Gehirns. Verschiedentlich wurde vermutet, dass HF-EMF die Funktion dieser Schranke negativ beeinflussen und damit das Gehirn potenziell schädigen könnte.

Verhalten

Dieser Endpunkt umfasst die wenigen Studien, die sich dem Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und Verhalten gewidmet haben. In einer eigenen Subkategorie wurden die Arbeiten zum Verhalten von Kindern erfasst.

Wirkmechanismen

Dabei geht es nicht um konkrete gesundheitliche Effekte, sondern um Erklärungen, wie Effekte ursächlich zustande kommen könnten. In der Forschung ist das Wissen um Wirkmechanismen von zentraler Bedeutung, weil damit ggf. Beobachtungen, insbesondere statistische Korrelationen aus epidemiologischen Studien, kausal erklärt werden können. Für den Risikonachweis sind deshalb solche Studien von großem Belang.

Genau genommen handelt es sich bei diesem Forschungsbereich nicht um einen »Endpunkt«. Aus pragmatischen Gründen wird er dennoch hier mit aufgeführt. Es wurden vier Themenfelder herausgegriffen, die durch eine besonders aktive Forschungslandschaft gekennzeichnet sind. Die Heterogenität des Feldes ist jedoch außerordentlich groß und die Auswahl hätte auch anders ausfallen

^
› 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF
v

können. Im Einzelnen handelt es sich (i) um Studien, welche das Potenzial von HF-EMF zur Destabilisierung des Genoms untersuchen, (ii) Arbeiten, die sich mit dem Schädigungspotenzial von Sauerstoffradikalen beschäftigen, (iii) Forschungsarbeiten zur Protein- und Genexpression unter HF-EMF-Exposition und (iv) Studien, welche die Wirkungen von HF-EMF auf Zellmembranen und Zellfunktionen zum Thema haben.

Für die Risikobewertung sind Resultate in diesem Feld erst hilfreich, wenn robuste Ergebnisse vorliegen und ein auf diese Weise identifizierter Wirkungsmechanismus Befunde aus Effektstudien schlüssig erklären kann.

Anderes

Nicht alle in der Literatur vorfindbaren Effektstudien werden von den zuvor beschriebenen Endpunkten erfasst. Daher wurden weitere sieben Endpunkte unter dieser Sammelkategorie gefasst. Es sind dies: (i) Kinder und Jugendliche allgemein, (ii) ältere Menschen, (iii) Immunsystem, (iv) Metabolismus, (v) Sinne (Gehör, Auge), (vi) Zellen allgemein sowie (vii) Adaptive Response.

Bei Adaptive Response (anpassungsfähige Antwort) handelt es sich um einen Endpunkt, der in jüngerer Zeit und vor allem in außereuropäischen Studien thematisiert wird. Untersucht wird hier, ob bzw. wie die Wirkung einer Noxe (z. B. ein Schadstoff oder Röntgenbestrahlung) durch vorherige Exposition mit HF-EMF beeinflusst werden kann.

4.1.5 Exkurs: Dosimetrie/Exposimetrie

In sehr vielen Studien im EMF-Bereich wird sich mit Fragen der Expositionserfassung und der Dosimetrie, sowohl messtechnisch als auch durch computergestützte Modellierung und Simulationen, beschäftigt. Diese Arbeiten bilden eine unverzichtbare Grundlage für experimentelle und epidemiologische Arbeiten an möglichen gesundheitsbezogenen Risiken, aber auch beispielsweise hinsichtlich der Einhaltung von Grenzwerten sowie für regulatorische Empfehlungen.

Im vorliegenden Bericht stehen dosimetrische Studien und Arbeiten zur Expositionserfassung nicht im Mittelpunkt. Dennoch werden einige für die Risikoforschung relevanten Erkenntnisse aus der EMF-Dosimetrie und -Exposimetrie zusammengefasst (Kap. 4.5.3). Auch werden wichtige aktuelle Befunde aus diesen Projekten mit Zitaten dokumentiert, insbesondere in den Länderanhängen (Kap. 8.1.2). Dies dient dazu, auch in diesem Feld einen Eindruck bezüglich möglicher Forschungsbedarfe zu gewinnen.

Die EMF-Dosimetrie und -Exposimetrie hat in den letzten 10 bis 15 Jahren große Fortschritte gemacht. Einerseits ist die Qualität der anatomischen Modelle und damit die Auflösung zur Berechnung von organspezifischen Dosen erheblich gestiegen, andererseits haben epidemiologische Untersuchungen dank der

Erfassung persönlicher Expositionen deutlich an Aussagekraft zugelegt. Dennoch gibt es immer wieder – und nicht wenige – neue Arbeiten, die nicht dem heute möglichen Stand der Methodik entsprechen.

4.2 Darstellung des Forschungsstands mittels grafischer Tabellen

Ein zentrales Ergebnis des Gutachtens der FSM (2017) ist die übersichtliche Darstellung des Stands der Forschung in Form von grafischen Tabellen. Deren Grundgerüst bildet die in Kapitel 4.1.4 beschriebene Evidenzmatrix mit den Studententypen (Zell-, Tier-, Humanstudien) in den Spalten und den Endpunkten in den Zeilen. Um die Darstellung übersichtlich zu halten, wurde für jedes betrachtete europäische Forschungsprogramm (Deutschland: DMF-Programm und Nachfolgeaktivitäten, Frankreich: PNREST, Niederlande: EMF&H, Schweiz: NFP57 und FSM, EU: FP7-Projekte plus EFHRAN sowie SCENIHR) sowie für die internationalen Forschungen eine eigene Tabelle erstellt.

Das DMF-Programm und die Nachfolgeaktivitäten werden ausführlich in Kapitel 4.3 und 4.4 dargestellt, die anderen Programme sind in Kapitel 8.1.2 dokumentiert.

Tabelle 4.3 zeigt als Beispiel den Auszug einer ausgefüllten Tabelle. Die *Nummern in den Feldern* verweisen auf die Befunde der Studien bzw. die entsprechenden Zitate in Publikationen. Die spezifische Kodierung der Einträge wird für jede Tabelle an Ort und Stelle erklärt. Jeder Tabelleneintrag ist mit einem Belegzitat verknüpft. Um die Lesbarkeit nicht zu erschweren, sind nur die Zitate aus dem DMF und den Nachfolgeaktivitäten im Text aufgeführt; alle anderen Zitate sind in Kapitel 8.1.2 gelistet. Die Schriftfarbe visualisiert gemäß der Evidenzkategorien (Abb. 4.2) die in den Studien laut Autorenschaft vorgelegte Evidenz.

Neben den Zitathinweisen, welche für am Detail interessierte Leserinnen und Leser gedacht sind, wurde für den am schnellen Gesamtbild interessierten Personenkreis die wissenschaftliche Globaleinschätzung (hinsichtlich Effekt- bzw. Risikonachweis) der Programmleitungen und/oder anderer relevanter Bewertungsgremien in den entsprechenden Ländern vermerkt. Diese Bewertungen sind durch Einfärben der Zellen, wiederum gemäß der verwendeten Evidenzkategorien (Kap. 4.1.3), kenntlich gemacht.

Zu beachten ist Folgendes: Sind zu einem bestimmten Endpunkt in einem Programm keine Studien durchgeführt worden oder liegen zu diesem Endpunkt keine Bewertungen seitens offizieller Stellen vor, bleibt das entsprechende Feld leer. Ebenfalls leer bleiben Felder, die sachlich keinen Sinn machen (weil sie nur aufgrund der systematischen Tabellierung Endpunkte/Studententypen entstanden sind, etwa: Neurodegeneration/Gesundheit akut (Neurodegeneration ist immer eine chronische Erkrankung), oder: Elektrosensibilität/Tierstudien (Elektro-

^
 > 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF
 v

sensibilität hat per Definition die kognitive Dimension der Ursachenzuschreibung; dazu sind nur Menschen fähig).

Tab. 4.3 Darstellungsbeispiel für die Studienergebnisse

	Zellstudien	Tierstudien	Humanstudien		
			Biologie	Gesundheit akut	Gesundheit chronisch
Krebs		20, 21, 50			(SSK; S. 21)
<i>Tumore im Kopfbereich</i>					31, 32
<i>Tumore bei Kindern</i>					30
<i>andere Tumore</i>		51			
Neurodegeneration/ neuronale Erkrankungen					
Fertilität		14d, 22, 54b	54a		(SSK; S. 30)

Quelle: FSM 2017, S. 19

In den Tabellen hat die FSM (2017) alle Fachpublikationen, deren Qualität sie als unzureichend beurteilt haben, in Klammern gesetzt. Durch die Klammersetzung bleibt die Farbgebung erhalten. So wird sichtbar, wie viele Studien, die für einen Endpunkt Effekte gezeigt haben bzw. »Entwarnung« gaben, nicht in die Endbeurteilung eingeflossen sind. Die Studienqualität ist somit nicht bereits in die Literatursauswahl eingeflossen, sondern erst in die Beurteilung der Studienergebnisse bzw. der wissenschaftlichen Evidenz.⁵³

⁵³ Wissenschaftlich nicht überzeugende Studien sind im Literaturverzeichnis kursiv gesetzt.

Kurzanleitung zum Verständnis der Tabellen

1. Die Farbe der Zelle entspricht der globalen Einschätzung der relevanten Bewertungsgremien nach dem Farbschema:

Effekt ausreichend nachgewiesen
Effekt limitiert nachgewiesen
Effekt inadäquat nachgewiesen
kein Effekt nachgewiesen

Für das DMF richtet sich die Zellenfarbe nach (BfS 2008) und (SSK 2011).

2. Die Ziffern (bzw. Kürzel) in den Zellen bezeichnen die Textstellen der Forschungsarbeiten, auf die sich die Einschätzung bezieht. Diese sind in Kapitel 8.1 explizit aufgeführt.
3. Die Schriftfarbe bezeichnet die Einschätzung der Autoren der Forschungsarbeit gemäß diesem Farbschema:

Effekt ausreichend nachgewiesen
Effekt limitiert nachgewiesen
Effekt inadäquat nachgewiesen
kein Effekt nachgewiesen

4. Eine Ziffer ist eingeklammert, wenn die Qualität der Forschungsarbeit von den Gutachtern der FSM (2017) als unzureichend bewertet wurde. Hinweise:
 - › Bei Arbeiten aus den Nachfolgeaktivitäten des DMF ist der Ziffer ein »N« vorangestellt.
 - › In den Fällen, bei denen die Einschätzungen der SSK sich nicht direkt auf wissenschaftliche Primärquellen stützen, wird die Seitenzahl in SSK (2011) aufgeführt.

4.3 Ausgangspunkt: Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF)

4.3.1 Charakterisierung

Das »Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm« (DMF) wurde durch das Bundesumweltministerium (BMU) und das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) mit einer Laufzeit von 2002 bis 2008 initiiert. Das Programm wurde zu gleichen Teilen vom Bundesumweltministerium und den Mobilfunkbetreibern mit insgesamt 17 Mio. Euro gefördert. 54 Forschungsvorhaben aus den Bereichen »Biologie«,

^
» 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF
v

»Dosimetrie«, »Epidemiologie« und »Risikokommunikation« wurden durchgeführt.

Ziel des DMF war es, offenen Fragen zu möglichen gesundheitlichen Risiken sowie zu grundsätzlichen biologischen Wirkungen und Mechanismen der beim Mobilfunk verwendeten HF-EMF wissenschaftlich belastbar nachzugehen und damit einen Beitrag zur Verringerung der Unsicherheiten in diesem Bereich zu leisten (dazu und zum Folgenden BfS 2008, 7 ff.). Letztendlich dienten die erzielten Ergebnisse auch der Überprüfung der bestehenden Strahlenschutzmaßnahmen. Zu diesem Zweck wurden insbesondere Studien vorgesehen, in denen vorliegenden Hinweisen auf biologische Effekte unterhalb der Grenzwerte nachgegangen wurde. Das Phänomen der Elektrosensibilität sollte ebenfalls abgeklärt werden. Ein weiterer Schwerpunkt war die gezieltere Untersuchung der gesellschaftlichen Risikowahrnehmung sowie Möglichkeiten für eine Verbesserung der Risikokommunikation zu eruieren. Es wurde angestrebt, dass die Ergebnisse Aussagekraft für das gesamte Frequenzspektrum der Telekommunikation haben und möglichst auch die Bewertung von Wirkungen zukünftiger technischer Entwicklungen zulassen. Deshalb wurde der Frequenzbereich bewusst breit gefasst und ging in einigen Studien über die für GSM und UMTS genutzten Frequenzen hinaus.

Im nachfolgenden Kapitel 4.3.2 werden die Ergebnisse aus dem DMF kurz zusammenfassend entlang der von der FSM (2017) definierten Endpunkte dargestellt. Dabei werden die Studien jeweils mit den Nummern bezeichnet, die sich auch in der Tabelle 4.4 wiederfinden. Es erfolgt eine Orientierung an den Abschlussberichten des BfS (2008) und der SSK (SSK 2008, 2011). Für eine weiterführende ausführliche Beschreibung und Bewertung der DMF-Ergebnisse stehen diese Abschlussberichte zur Verfügung.

4.3.2 Befundlage Biologie/Gesundheit

Krebs

Das Hauptaugenmerk der gesundheitsorientierten EMF-Forschung liegt auf dem Krebsrisiko. Aus Sicht des Strahlenschutzes ist die Frage nach möglichen Langzeitwirkungen, insbesondere von potenziell krebsinitiierenden oder krebspromovierenden Wirkungen, von besonderem Interesse (SSK 2011, S. 16). Das DMF lieferte Ergebnisse zu Tumoren im Kopfbereich, d. h. Hirn- (32) und Augentumor (31); Tumoren bei Kindern (30) und anderen Tumoren (20/21). Insgesamt lässt sich laut SSK 2011 (S. 21) feststellen, dass die Forschungsprojekte des DMF keine Anhaltspunkte für eine krebsinitiierende oder -promovierende Wirkung erbracht haben.



Zitatliste

- (20, 21) (BfS 2008, S.21): Insgesamt wurden in den genannten Studien keine Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen festgestellt, die auf eine Beeinflussung der Tumorentwicklung durch die chronische Ganzkörperexposition mit GSM-900 oder UMTS (SAR 0,4 W/kg) hindeuten würden.
- (30) (BfS 2008, S.44): Es wurde kein Zusammenhang zwischen geschätzter Feldstärke und Kinderleukämie gefunden. Dies gilt sowohl für die geschätzte Gesamtexposition als auch für die Exposition durch Mittelwellensender oder UKW/TV Sender und für alle Leukämieuntergruppen.
- (31) (BfS 2008, S.46): Erste vorläufige Ergebnisse zeigten übereinstimmend kein erhöhtes Risiko für ein Uvealmelanom in Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen. Eine endgültige Interpretation ist aber erst möglich, sobald mögliche systematische Fehler (Selektion und Expositionsmessfehler) näher untersucht sind.
- (32) (BfS 2008, S.47): Insgesamt zeigen die Ergebnisse der deutschen Studie kein erhöhtes Risiko für Gliome, Meningiome oder Akustikusneurinome bei einer Nutzung eines Mobiltelefons von weniger als 10 Jahren. Für Langzeitzutzer von 10 Jahren und mehr bietet die deutsche Studie nur sehr kleine Fallzahlen: hier wird kein erhöhtes Risiko für Meningeome oder Akustikusneurinome beobachtet und ein nicht signifikant erhöhtes Risiko für Gliome.
- (SSK 2011, S.21): Die im Rahmen des DMF durchgeführten Untersuchungen (haben) keine Anhaltspunkte für eine krebsinitierende oder -promovierende Wirkung erbracht [...] Die Zusammenschau dieser Beiträge ergibt somit eine unzureichende Evidenz für die Kanzerogenität von Mobilfunkexpositionen.

Neurodegenerative Erkrankungen

Dieser Endpunkt wurde im DMF nicht untersucht.

Fertilität und Entwicklung

Zwei Langzeitstudien an Nagetieren (14d und 22) befassten sich mit diesen beiden Endpunkten. Laut SSK (2011, S.30) lassen die Ergebnisse keine negativen Auswirkungen durch EMF des Mobilfunks auf Fertilität und Entwicklung erwarten.

Zitatliste

- (14d) (BfS 2008, S.36): (Es) wurden 3 Generationen Wistar-Ratten ab der Zeugung mit UMTS Mobilfunkstandard exponiert [...]. Auch hier zeigten sich keine Unterschiede zwischen exponierten Tieren und scheinexponierten Kontrollen.

^
› 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF
v

(22) (BfS 2008, S. 16): Eine Studie über vier Generationen hinweg an chronisch mit UMTS-Signalen exponierten Mäusen ergab keine Hinweise auf negative Effekte auf die Parameter Fortpflanzung und Entwicklung. (SSK 2011, S. 30): sehr unwahrscheinlich [...], dass durch Mobilfunkexpositionen bis zu den Grenzwerten negative Auswirkungen auf Reproduktion und Entwicklung zu erwarten sind.

Kardiovaskuläres System

Dieser Endpunkt wurde im DMF-Programm nicht untersucht.

EEG

Innerhalb des DMF wurden dazu verschiedene Arbeiten im Schlaf- (4, 5, 6) und Wachzustand (4b) durchgeführt. Die SSK (2011, S. 26) bemerkt, dass die Veränderungen des EEG aufgrund der Tageszeit stärker ausgeprägt waren als ein Expositionseffekt, und kommt zu dem Schluss, dass sowohl für Schlaf-EEG als auch für das Ruhe-EEG im Wachzustand eine abschließende Wertung nicht möglich ist und es weiteren Forschungsbedarf u. a. in Bezug auf altersspezifische Gesichtspunkte gibt.

Zitatliste

(4b) (BfS 2008, 28f.): [...] deswegen werden diese Ergebnisse vom BfS als zufällig gewertet. Einen deutlichen und signifikanten Einfluss auf das Wach-EEG zeigte die Tageszeit [...]. Insgesamt deuten die Daten nicht darauf hin, dass die Exposition mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks einen Einfluss auf evozierte und ereigniskorrelierte Potentiale hat [...]. Die Autoren [...] und das BfS (werten) die beobachteten Effekte, sofern sie nicht rein zufällig sind, als eine leichte physiologische Anpassung, aber nicht als Schlaf störend.

Kognition

Eine Humanstudie (4a/c) und eine Tierstudie (14c) aus dem DMF wurden hinsichtlich des Endpunkts Kognition durchgeführt. Die Ergebnisse beider Studien sprechen dafür, dass elektromagnetische Felder des Mobilfunks keinen Einfluss auf Verhaltensparameter der kognitiven Leistungsfähigkeit haben.

Somit schließen die SSK (2011, 7, 26) und das BfS (2008, 26 f.), dass keine Beeinflussung der kognitiven Fähigkeiten durch Mobilfunkfelder zu vermuten ist.



Zitatliste

- (4a) (BfS 2008, S. 13): Insgesamt gibt diese Studie nach Meinung der Autoren und des BfS keine Hinweise auf einen gesundheitlich relevanten Einfluss der GSM und UMTS Felder auf Schlaf und Kognition.
- (4c) (BfS 2008, S. 27): Bei Würdigung aller publizierten Ergebnisse insgesamt [...] deuten auf minimale physiologische Reaktionen hin und bedeuten in keinem Fall eine Beeinträchtigung der Gesundheit oder der Leistungsfähigkeit.
- (14c) (BfS 2008, S. 27f.): [...] können im Tiermodell Langzeiteffekte erfasst werden [...] keine Hinweise auf eine negative Beeinflussung der operanten Verhaltens- oder Gedächtnisleistung durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern.

Schlaf

Für diesen Endpunkt liegen Ergebnisse aus drei biologischen Studien (4a, 5a, 6b) und einer epidemiologischen Querschnittsstudie (29) im Rahmen des DMF vor. Die SSK (2011, S. 37) kommt zu dem Schluss, dass epidemiologische und Feldstudien übereinstimmend keine Beeinflussung des Schlafverhaltens durch HF-EMF zeigen.

Zitatliste

- (4a) (BfS 2008, S. 13): Insgesamt gibt diese Studie nach Meinung der Autoren und des BfS keine Hinweise auf einen gesundheitlich relevanten Einfluss der GSM und UMTS Felder auf Schlaf und Kognition.
- (5a) (BfS 2008, S. 13): Die Auswertung der Schlafparameter des Gesamtkollektivs ergab keinen signifikanten Einfluss der Exposition auf subjektive und objektive Schlafparameter.
- (6b) (BfS 2008, S. 13): [...] zeigte sich bei einigen elektrosensiblen Personen eine Verbesserung der subjektiven Schlafqualität, nicht aber der objektiven physiologischen Schlafparameter, wenn sie glaubten unter Abschirmung zu schlafen (Placebo Effekt).

Unspezifische Symptome/Elektrosensibilität

Im Rahmen des DMF liegen Ergebnisse aus insgesamt 8 Forschungsprojekten vor, die sich mit unspezifischen Symptomen und Elektrosensibilität auseinandergesetzt haben. Mehrere epidemiologische Studien untersuchten einen möglichen Zusammenhang zwischen unspezifischen Symptomen, wie etwa Schlafstörungen, Kopfschmerzen, Beschwerden allgemein sowie körperliche und psychische Lebensqualität bei Erwachsenen (1b, 2a, 4a, 5a) bzw. Kindern (29) und

4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF

elektromagnetischen Feldern von Mobilfunkstationen. Außerdem wurden Studien zum Noceboeffekt durchgeführt (2b, 5b, 6b).

Drei epidemiologische Studien (6a, 7a, 8) hatten das Ziel, direkt dem Phänomen Elektrosensibilität nachzugehen. Zusätzlich gab es noch den im Bereich »Risikokommunikation« des DMF angesiedelten Versuch, elektrosensible Personen hinsichtlich ihrer Persönlichkeitsmerkmale zu beschreiben (Ulmer und Bruse 2006).

Die durchgeführten Studien haben nicht die Hypothese erhärten können, dass es Elektrosensibilität im Sinn einer wesentlich erhöhten Empfindlichkeit oder Wahrnehmungsfähigkeit der untersuchten Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern gibt (BfS 2008, S. 13; SSK 2008, S. 24, 2011, S. 29). Insgesamt haben die Studien des DMF nach Einschätzung der SSK (2008, S. 25) die Annahme einer kausalen Beziehung zwischen elektromagnetischen Feldern und unspezifischen Gesundheitsbeschwerden nicht bestätigen können. Dass Placebo- bzw. Noceboeffekte eine Rolle spielen, wurde klar nachgewiesen. So hatte etwa bereits das Vorhandensein einer Abschirmung einen positiven Effekt auf die subjektiv empfundene Schlafqualität, unabhängig davon ob das Material tatsächlich schirmende Eigenschaften hatte oder nur eine Attrappe war (BfS 2008, S. 31).

Zitatliste

Unspezifische Symptome

- (1b) (SSK 2011, S. 10): kein Zusammenhang zwischen der Exposition durch Mobilfunkbasisstationen und dem berichteten Befinden der Anwohner (2011; S. 10)
- (2a) (BfS 2008, S. 12): keinen Zusammenhang zwischen den gemessenen Feldern von Basisstationen und den fünf untersuchten Zielvariablen Kopfschmerzen, Schlafstörungen Beschwerden allgemein, gesundheitliche Lebensqualität psychisch oder körperlich.
- (4a) (BfS 2008, S. 13): Insgesamt gibt diese Studie nach Meinung der Autoren und des BfS keine Hinweise auf einen gesundheitlich relevanten Einfluss der GSM und UMTS Felder auf Schlaf und Kognition.
- (5a) (BfS 2008, S. 13): Die Auswertung der Schlafparameter des Gesamtkollektivs ergab keinen signifikanten Einfluss der Exposition auf subjektive und objektive Schlafparameter.
- (6a, 7a, 8a) (BfS 2008, S. 13): [...] konnte der von den Betroffenen vermutete Zusammenhang zwischen einer Exposition mit EMF und ihren Beschwerden nicht bestätigt werden.
- (7b, 8b) (BfS 2008, 13f.): Bei den gemessenen Laborparametern zeigten sich nur wenig signifikante Unterschiede zwischen den Elektrosensiblen und den Kontrollpersonen, deren klinische Relevanz aber fraglich ist.



Nozeboeffekt

- (2b) (BfS 2008, S. 12): Das Zurückführen (»Attribution«) von gesundheitlichen Beschwerden auf die Felder von Basisstationen war statistisch signifikant mit Schlafstörungen und Beschwerden allgemein assoziiert, nicht aber mit den Zielvariablen Kopfschmerzen und gesundheitliche Lebensqualität (psychisch und physisch).
- (5b) (BfS 2008, S. 13): Bedenken und Besorgnis gegenüber dem Sendemast führten auch unter Scheinexposition zu einer signifikant verschlechterten Schlafqualität. Das bedeutet, dass nicht die elektromagnetischen Felder, sondern psychologische Einflüsse die Schlafqualität beeinträchtigen.
- (6b) (BfS 2008, S. 13): zeigte sich bei einigen elektrosensiblen Personen eine Verbesserung der subjektiven Schlafqualität, nicht aber der objektiven physiologischen Schlafparameter, wenn sie glaubten unter Abschirmung zu schlafen (Placebo Effekt).

Kinder

- (29) (SSK 2011, S. 10): Zusammenhang zwischen der mit Personendosimetern erfassten individuellen Exposition [...] und dem Befinden von 3.022 Kindern und Jugendlichen [...] kein Zusammenhang zwischen der RF-EMF⁵⁴-Exposition und chronischen sowie akuten Beschwerden wie Kopfschmerzen, Gereiztheit, Nervosität, Schwindel, Angst, Einschlafprobleme und Müdigkeit [...].

Hormone/Drüsen

Im Rahmen des DMF wurden zwei Studien an Zellen bzw. isolierten Pinealorganen⁵⁵ von Hamstern (10, 11a) zu diesem Endpunkt durchgeführt. Ein Einfluss von elektromagnetischen Feldern auf das Hormonsystem bzw. Stressproteine wurde in keiner der beiden Studien beobachtet.

Zitatliste

- (10) (BfS 2008, S. 24): die »Melatoninhypothese«, nach der es durch EMF-Expositionen unterhalb der Grenzwerte zu einer verringerten Melatoninproduktion kommen soll, (wird) durch die Ergebnisse nicht gestützt [...].
- (11a) (BfS 2008, S. 23): Hinsichtlich Zellvermehrung und Lebensfähigkeit, Zellzyklus, Apoptose [...] sowie Phagozytoseaktivität [...] traten keine Unterschiede zwischen exponierten Zellen und scheinexponierten Kontrollen auf.

54 RF-EMF bedeutet Radiofrequenz-EMF und wird oft synonym zu HF-EMF (Hochfrequenz-EMF) verwendet.

55 Das Pinealorgan (auch Epiphyse oder Zirbeldrüse genannt) ist eine Drüse im Hirn von Wirbeltieren und produziert Melatonin.

^
› 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF
v

Eine gesteigerte Produktion des Stressproteins HSP-70 wurde in diesem Zellsystem nicht beobachtet.

Blut-Hirn-Schranke

Im DMF lieferten zu diesem Endpunkt zwei Tierstudien (14a, 13a/b) und eine Zellstudie Ergebnisse (12). Die Projekte des DMF haben auch mit neuen methodischen Ansätzen keine Effekte auf die Blut-Hirn-Schranke gefunden. Damit gibt es laut SSK keine ausreichende Evidenz für eine Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke durch Mobilfunkexposition im Bereich der Grenzwerte (BfS 2008, S. 14–16; SSK 2011, 24, 37). Früher publizierte Ergebnisse, die auf eine Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke hinwiesen, konnten nicht bestätigt werden.

Zitatliste

- (12, 13a, 14a) (BfS 2008, 14f.): Die beobachteten Veränderungen auf Genexpressionsebene werden nicht als Hinweis auf eine Funktionsbeeinträchtigung der Blut-Hirn-Schranke gewertet, auf die sich insgesamt aus in vivo Studien und einer in vitro Studie keine Hinweise finden.
- (13b) (BfS 2008, S. 16): (keine) Schädigung der Blut-Hirn-Schranke [...]. Dies gilt für eine chronische Ganzkörperexposition, die auch vorgeburtliche Entwicklungsstadien bei Tieren umfasste, sowie für eine lokale akute Exposition am Kopf.
- (SSK 2011, S. 24): Insgesamt gibt es keine ausreichende Evidenz für eine Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke durch Mobilfunkexpositionen im Bereich der Grenzwerte

Verhalten

Eine Tierstudie (14c) fand keine Hinweise auf eine negative Beeinflussung des Verhaltens durch HF-EMF. Der mögliche Einfluss auf das Verhalten von Menschen (und speziell auf Kinder) wurde im DMF nicht untersucht.

Zitatliste

- (14c) (BfS 2008, 27f.): [...] können im Tiermodell Langzeiteffekte erfasst werden [...] keine Hinweise auf eine negative Beeinflussung der operanten Verhaltens- oder Gedächtnisleistung durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern.

Wirkmechanismen

Innerhalb des DMF wurden zur Identifikation und Aufklärung von Wirkmechanismen verschiedene Studien durchgeführt (9, 11b, 18, 19). Die Evidenz für das Vorliegen genotoxischer Wirkungen wird von der SSK als »sehr gering«



eingestuft (SSK 2011, S.8). Untersuchungen zur Beeinflussung der Genexpression, die von einigen Autoren als Indikator genotoxischer Wirkungen angesehen wird, zeigten in einigen wenigen Fällen eine Veränderung der Genregulation. Dies erfolgte allerdings nur bei sehr hohen SAR-Werten, bei denen thermische Effekte nicht auszuschließen sind. Die SSK (2011, S.9) folgert daher, dass »sich keine relevanten Veränderungen der Genexpression durch Mobilfunkfelder ableiten« lassen.

Auch ein Einfluss von HF-EMF auf die Konzentration von potenziell schädlichen Sauerstoffradikalen konnte nicht nachgewiesen werden (BfS 2008, S.14; SSK 2008, S.12). Für den Bereich der Wirkmechanismen konstatiert die BfS (2008, S.24), dass weitere Grundlagenforschung nötig sei.

Zitatliste

- (9) (BfS 2008, S.24): Die Aktivität der neuronalen Netzwerke korrelierte mit der Exposition und folgte den Temperaturveränderungen mit einer Verzögerung von wenigen Minuten. Ein Unterschied zwischen UMTS und CW (Continuous Wave, ungepulstes Signal) zeigte sich nicht, was gegen einen Einfluss der Signalstruktur spricht.
- (11b) (BfS 2008, S.14): [...] die Konzentration reaktiver Sauerstoffverbindungen in den untersuchten Zellen [wurde nicht beeinflusst].
- (18) (BfS 2008, S.22): Mögliche genotoxische Effekte »gepulster« GSM-1800 Mobilfunksignale wurden in peripheren Lymphozyten erwachsener und jugendlicher Spender untersucht. (SSK 2011, S.8) [...] kann festgestellt werden, dass die Evidenz für das Vorliegen genotoxischer Wirkungen als sehr gering einzustufen ist, allerdings wird die Aussagekraft dieser Schlussfolgerung durch die methodisch begründbare Variabilität der experimentellen Daten der vorliegenden Studie abgeschwächt.
- (19) (BfS 2008, S.23) Sollten genotoxische Effekte beobachtet werden, könnte die Genexpressionsstudie Zielmoleküle aufzeigen. (SSK 2011, S.9): Der Umstand, dass unter den als »reguliert« klassifizierten Genen häufig diejenigen zu finden waren, die für Hitzeschockproteine (HSP) codieren [...] weist darauf hin, dass thermische Effekte nicht auszuschließen sind. Aus den Ergebnissen lassen sich keine relevanten Veränderungen der Genexpression durch Mobilfunkfelder ableiten.

Anderes

Kinder- und Jugendliche

Eine DMF Studie (29) untersuchte einen möglichen Zusammenhang zwischen HF-EMF Exposition und gesundheitlichen Beschwerden bei Kindern. Die Studienergebnisse deuten nicht auf größere gesundheitliche Beschwerden bzw. eine höhere Gefährdung von Kindern durch HF-EMF hin (SSK 2011, S.10).

^
› 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF
v

Zitatliste

- (29) (SSK 2011, S. 10): Zusammenhang zwischen der mit Personendosimetern erfassten individuellen Exposition [...] und dem Befinden von 3.022 Kindern und Jugendlichen [...] kein Zusammenhang zwischen der RF-EMF-Exposition und chronischen sowie akuten Beschwerden wie Kopfschmerzen, Gereiztheit, Nervosität, Schwindel, Angst, Schlafprobleme und Müdigkeit [...].

Ältere Menschen

Dieser Bereich wurde im Rahmen des DMF nicht untersucht.

Immunsystem

Zwei DMF Projekte (11a, 14b) untersuchten potenzielle Wirkungen von HF-EMF auf das Immunsystem. Die Ergebnisse erlauben den Schluss, dass Mobilfunkfelder keinen Einfluss auf das Immunsystem haben (SSK 2011, S. 38).

Zitatliste

- (11a) (BfS 2008, S. 23): Hinsichtlich Zellvermehrung und Lebensfähigkeit, Zellzyklus, Apoptose [...] sowie Phagozytoseaktivität [...] traten keine Unterschiede zwischen exponierten Zellen und scheinexponierten Kontrollen auf. Eine gesteigerte Produktion des Stressproteins HSP-70 wurde in diesem Zellsystem nicht beobachtet.
- (14b) (BfS 2008, S. 35): Hinweise auf eine Dauerstress-ähnliche Belastung der exponierten Tiere oder eine negative Beeinflussung des Immunsystems ergeben sich sowohl nach Ansicht der Autoren der Studie als auch nach Meinung des BfS aus den Ergebnissen nicht.
- (SSK 2011, S. 29): Auch die immer wieder durchgeführten Untersuchungen zu Effekten auf verschiedene Blutparameter (z. B. Reticulozyten, »Geldrolleneffekt«), z. B. vor und nach der Errichtung einer Mobilfunkbasisstation, sind aus Sicht des Robert-Koch-Instituts »spekulativ und basieren nicht auf einem validierten diagnostischen Ansatz«.

Metabolismus

Das Projekt (23) wurde nachträglich ins DMF aufgenommen, um aufzuklären, ob der in der Studie (20) beobachtete Effekt, dass eine chronische Ganzkörperexposition von Mäusen mit GSM 900 bei einem SAR-Wert von 0,4 W/kg eine zwar geringe aber statistisch signifikante Gewichtszunahme mit sich brachte, eine metabolische Ursache hat.

Im Ergebnis zeigte sich, dass bei hohen SAR-Werten von 4 W/kg die metabolische Umsatzrate der Tiere sank. Dieser SAR-Wert lag zwar unterhalb der



Schwelle für eine messbare Erhöhung der Körperkerntemperatur, löste aber bei den Versuchstieren bereits thermoregulatorische Reaktionen aus. Bei niedrigeren SAR-Werten (0,08 und 0,4 W/kg) traten keine Auswirkungen auf die metabolische Umsatzrate auf, sodass das Ergebnis von (20) nicht plausibel erklärt werden konnte.

Zitatliste

(23) (BfS 2008, 21, 2): Ob dies auf eine Beeinflussung des Metabolismus der Tiere durch die Exposition zurückgeführt werden kann, wurde in einem gesonderten Projekt untersucht [Fazit dieser Studie: bei hohen SAR-Werten kommt es zu metabolischen Effekten (Lerchl 2008, S.2)].

Sinne (Gehör und Auge)

Zu möglichen Einflüssen von Mobilfunkfeldern auf das Hörorgan (15, 16a/b) und das Auge (17) liegen Ergebnisse aus drei DMF Studien vor. Mithilfe verschiedener methodischer Ansätze konnte eine Beeinflussung von Hör- oder Sehvermögen durch Mobilfunkfelder weitgehend ausgeschlossen werden (SSK 2011, S.37).

Zitatliste

(15, 16a, 17) (BfS 2008, S. 15): [in-vivo Studien zum] Einfluss [von] [...] GSM- und UMTS [...] auf [...] Netzhaut und [...] Hörsinneszellen haben bis zu einem SAR-Wert von 20 W/kg keine systematischen, biologisch relevanten Ergebnisse gezeigt.

(16b) (BfS 2008, S. 16): [...] keine Hinweise auf die Induktion von Tinnitus im Tiermodell bei SAR-Werten von bis zu 20 W/kg.

(SSK 2011, S. 15): [...] kein Bedarf gesehen, den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das visuelle System weiter zu untersuchen [...] keine akuten negativen Auswirkungen des Mobilfunks auf das Hörsystem zu erwarten.

Adaptive Response

Dieser Endpunkt wurde im Rahmen des DMF nicht untersucht.

4.3.3 Wissensstand DMF – grafische Darstellung

In Tabelle 4.4 sind die Hauptbefunde der DMF-Projekte, die in den voranstehenden Abschnitten dargestellt wurden, grafisch im Überblick dargestellt. Die Zellenfarben in der Tabelle richten sich nach den Einschätzungen des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS 2008) und der Strahlenschutzkommission (SSK 2011) auf der Basis der Forschungsbefunde. Wo keine solche konkrete Studien-

^
 > 4 Forschungsstand zu möglichen gesund-heitlichen Auswirkungen von HF-EMF
 v

Grundlage bestand und der Endpunkt durch die SSK allgemein beurteilt wurde, wurde die Angabe SSK mit Seitenzahl des Belegzitats eingefügt. Diese Angabe ist in {geschweifte} Klammern gesetzt, um kenntlich zu machen, dass sie nicht auf Primärforschung verweist.

Die für die Zitate verwendete Nummerierung entspricht der Nummerierung in der Projektliste.⁵⁶ Werden mehrere Zitate aus einem Bericht verwendet, so sind diese – unter Angabe der Seitenzahl – alphanumerisch (1a, 1b, 1c ...) kenntlich gemacht.

Tab. 4.4 Wissensstand des DMF (Hauptprogramm)

		Zell-studien	Tier-studien	Humanstudien		
				Biologie	Gesund-heit akut	Gesund-heit chro-nisch
Zeilen-Nr.	Spaltenkürzel	Z	T	B	Ga	Gc
1	Krebs		20, 21			{SSK; S. 21}
2	<i>Tumore im Kopfbe-reich</i>					31, 32
3	<i>Tumore bei Kindern</i>					30
4	<i>andere Tumore</i>					
5	Neurodegenera-tion/neuronale Er-krankungen					
6	Fertilität		14d, 22			{SSK; S. 30}
7	Entwicklung		14d, 22			{SSK; S. 30}
8	kardiovaskulär/Blutsystem					
9	EEG			4b	4b	
10	Kognition		14c	4c	4a, 4c	
11	<i>Kinder</i>					
12	Schlaf			5a, 6b	4a	
13	<i>Kinder</i>				29	29

56 Die Zuordnung von Veröffentlichungen zu Projekten ist bei den internationalen For-schungsprogrammen leider nicht so transparent möglich, wie hier im DMF.

4.3 Ausgangspunkt: Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF)



14	unspezifische Symptome				1b, 2a, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 7b, 8b, 29	
15	Nozeboeffekt				2b, 5b, 6b	
16	Kinder				29	29
17	Hormone/Drüsen					
18	Melatonin	10				
19	Stressproteine/ Genexpression	11a				
20	Blut-Hirn-Schranke	12	13a, 13b, 14a			{SSK; S. 24}
21	Verhalten allg.		14c			
22	Kinder und Jugendliche					
23	Wirkmechanismen					
24	Genschädigung	18, 19				
25	Sauerstoffradikale	11b				
26	Genexpression	19				
27	Zellfunktionen/ Membran	9				
28	anderes					
29	Kinder und Jugendliche allg.				29, 33	29
30	ältere Menschen					
31	Immunsystem	11a	14b			{SSK; S. 29}
32	Metabolismus		23			
33	Sinne {Gehör, Netzhaut}		15, 16a, 16b, 17			{SSK; S. 15}
34	Zellen allg.					
		Z	T	B	Ga	Gc

Für Farbschlüssel siehe Kapitel 4.2 und für Details siehe Kapitel 8.1.1
In { }-Klammern findet sich die Beurteilung der SSK, die nicht auf konkreten DMF-Studienergebnissen fußt.

Quelle: FSM 2017, S. 21

Fazit der SSK und des BfS zu den Ergebnissen des DMF-Programms

SSK (2011, 36 f.): »Die Ergebnisse des DMF zeigen, dass die ursprünglichen Befürchtungen über gesundheitliche Risiken durch HF-EMF nicht bestätigt werden konnten. Es haben sich durch die Forschungsergebnisse des DMF auch keine neuen Hinweise auf bisher noch nicht bedachte gesundheitliche Auswirkungen ergeben. In Übereinstimmung mit anderen internationalen Gremien (ICNIRP 2009, WHO 2011⁵⁷) stellt das BfS und die SSK übereinstimmend fest, dass die den bestehenden Grenzwerten zugrundeliegenden Schutzkonzepte nicht infrage gestellt sind.

Aus der Sicht des Strahlenschutzes ist festzustellen, dass auf Basis der durchgeführten Forschungsprojekte die Gesamtsituation der biologisch-medizinischen Wirkungen der Felder des Mobilfunks nicht endgültig geklärt werden konnte. In diesem Sinn ist es verständlich, wenn trotz der Tatsache, dass die ursprünglichen Hinweise auf potenzielle gesundheitliche Wirkungen des Mobilfunks nicht bestätigt wurden, noch Forschungsbedarf bestehen bleibt. Die weiterhin dynamische Entwicklung neuer Funktechnologien und die Nutzung neuer Frequenzen und Übertragungsformen lassen darüber hinaus ebenfalls eine begleitende Forschung, Immissionskontrolle und Expositionsbeurteilung als sinnvoll erscheinen.«

BfS (2008, S. 6): »Die Ergebnisse des DMF geben insgesamt keinen Anlass, die Schutzwirkung der bestehenden Grenzwerte in Zweifel zu ziehen. Die in einigen Studien gefundenen geringfügigen physiologischen Reaktionen, die Hinweise, dass Kinder eventuell stärker exponiert sein könnten als Erwachsene, die nicht abschließend geklärte Frage nach gesundheitlichen Risiken bei einer langfristigen Handyexposition sowohl für Erwachsene, besonders aber für Kinder, legen auch weiterhin einen vorsichtigen Umgang mit drahtlosen Kommunikationstechniken nahe. Die Beibehaltung der vom BfS und auch von der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK, 2006) formulierten einschlägigen Vorsorgeempfehlungen vor allem für Kinder und Jugendliche wird weiterhin empfohlen.

Beim Betrieb der bestehenden und der Entwicklung neuer drahtloser Kommunikationstechnologien ist weiterhin auf eine vorsorgliche Minimierung der Exposition der Nutzer und der Bevölkerung zu achten. Die bestehenden Unsicherheiten in der Risikobewertung müssen durch gezielte Forschung weiter eingegrenzt werden.«

57 Das hier zitierte Fact Sheet No. 193 liegt nunmehr in einer 2014 überarbeiteten Fassung in deutscher Übersetzung vor WHO 2014.

4.4 Nachfolgeaktivitäten des DMF

Die Nachfolgeaktivitäten des DMF begannen nach Ende des DMF-Hauptprogramms im Jahr 2008. Im vorliegenden Bericht werden darunter alle thematisch relevanten aus Bundesmitteln geförderten und zumeist vom BfS koordinierten bzw. durchgeführten Forschungsaktivitäten verstanden. Die Analyse durch die FSM (2017) umfasst die bis 07/2017 veröffentlichten 30 Arbeiten, die in Kapitel 8.1.1.1 aufgeführt sind.

Die Evidenzen, die aus den DMF-Nachfolgeaktivitäten resultierten, sind in Tabelle 4.5 dargestellt. Diejenigen Ergebnisse, die Endpunkte⁵⁸ betreffen, welche schon im Hauptprogramm untersucht wurden, sind in der Tabelle in Normal-schrift in den entsprechenden Zellen eingetragen und in den entsprechenden Farben für ihre Evidenz kodiert. Die Studien, welche neue Endpunkte betreffen, sind kursiv und fett geschrieben und der Zellenrand ist farblich markiert.⁵⁹ Um den Informationsgewinn im Vergleich zum DMF-Hauptprogramm beurteilen zu können, stellen die Zellenfarben die Befunde aus dem DMF-Hauptprogramm dar. Wie im Kapitel 4.3 ausgeführt stehen die Farben für die Einschätzungen der SSK (2011) und des BfS (2008) auf der Basis der Forschungsbefunde zu allen im DMF untersuchten Endpunkten (Tab. 4.4).

Die Tabelle 4.5 zeigt, dass die Nachfolgestudien mehrheitlich die Erstbefunde bestätigt haben mit einem Trend hin zur »Entwarnung« (erkennbar durch grüne Schrift in gelben Feldern): in den Bereichen Hirntumore durch Mobiltelefonnutzung/Epidemiologie (Zelle Gc2), Auswirkungen von HF-EMF auf das Denken bzw. die Kognition/Humanstudien (B10) und mögliche Genschädigungen/Zellstudien (Z24) haben die Nachfolgeprojekte keine Effekte nachweisen können.

Erkenntnisse zu sechs neuen Endpunkten sind hinzugekommen (in Tabelle 4.5 farblich umrandete Zellen): schwache Evidenz ergab sich bezüglich der Fragestellung, ob die für junge Erwachsene gefundenen Effekte von HF-EMF (Terrestrial Trunked Radio – TETRA⁶⁰) auf kognitive Funktionen auch bei anderen Altersgruppen auftreten: Es sei unklar, ob diese Befunde in Bezug auf Kinder bzw. Jugendliche (B11) und ältere Menschen gültig sind (B30). Keine Einflüsse der HF-EMF wurden auf Verhalten und unspezifische Symptome gefunden (B14). Ebenso wurde bezüglich einer möglichen Einbuße der Fruchtbarkeit HF-EMF nicht als Ursache nachgewiesen, vielmehr scheint der Lebensstil für

58 Da hier und im Folgenden die Aussagen von einzelnen Studien diskutiert werden, bezieht sich »Endpunkt« auf eine Zelle in der Tabelle (d. h. auf die aus einem bestimmten Studientyp ableitbare Evidenz hinsichtlich eines medizinischen Endpunkts) und nicht auf eine gesamte Zeile, die die Gesamtevidenz aller Studientypen enthält.

59 Es handelt sich um die Zellen: T4 (Andere Tumore/Tierstudie), B6 (Fertilität/Biologie), Z8 (Kardiovaskulär/Zellstudie), B11 (Kognition (Kinder)/Biologie), B14 (Unspezifische Symptome/Biologie), B30 (Ältere Menschen/Biologie)

60 TETRA (landgestützter Bündelfunk) ist ein digitaler Funkstandard, der verbreitet für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) genutzt wird.

^
 > 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF
 v

entsprechenden Effekte verantwortlich zu sein (B6). In Laborexperimenten mit Zellen des blutbildenden Systems zeigten sich ebenfalls keine negativen Wirkungen (Z8).

Der bedeutendste Befund betrifft eine Tierstudie zu Tumoren (T4). Erhöhte Inzidenzen fanden sich für drei Karzinome (Lunge, Leber, Lymphe). Die Studie konnte damit die Resultate einer Erststudie (Tillmann et al. 2010) bestätigen, die UMTS-Mobilfunk in den Verdacht brachte, die Entstehung von Tumoren im Körper zu begünstigen (Kokanzerogenität).

Tab. 4.5 Resultate der DMF-Nachfolgeaktivitäten

		Zell-studien	Tier-studien	Humanstudien		
				Biologie	Gesund-heit akut	Gesund-heit chro-nisch
Zeilen-Nr.	Spaltenkürzel	Z	T	B	Ga	Gc
1	Krebs		50			
2	<i>Tumore im Kopfbe-reich</i>					32
3	<i>Tumore bei Kin-dern</i>					
4	<i>andere Tumore</i>		51			
5	Neurodegenera-tion/neuronale Er-krankungen					
6	Fertilität		54b	54a		
7	Entwicklung					
8	kardiovaskulär/Blutsystem	79				
9	EEG			53a, 56a	53a	
10	Kognition		50	53a, 56b	53a	
11	<i>Kinder</i>			53b, 56b		

4.4 Nachfolgeaktivitäten des DMF



12	Schlaf					
13	<i>Kinder</i>					
14	unspezifische Symptome			53a		
15	Nozeboeffekt					
16	<i>Kinder</i>					
17	Hormone/Drüsen					
18	Melatonin					
19	Stressproteine/ Genexpression					
20	Blut-Hirn-Schranke					
21	Verhalten allg.					
22	<i>Kinder und Jugendliche</i>					
23	Wirkmechanismen					
24	Genschädigung	52a				
25	Sauerstoffradikale					
26	Genexpression	52b				
27	Zellfunktionen/ Membran					
28	anderes					
29	<i>Kinder und Jugendliche allg.</i>					
30	<i>ältere Menschen</i>			53b, 56b		
31	Immunsystem					
32	Metabolismus					
33	Sinne (Gehör, Netzhaut)					
34	Zellen allg.					
		Z	T	B	Ga	Gc

Quelle: FSM 2017, S. 21

Zitatliste

Anmerkung: Bei den Projekten 54 und 56 handelt es sich um Literaturlauswertungen und nicht um eigene Forschungsarbeiten im engeren Sinne.

- (50) Es zeigten sich keine Hinweise auf negative Auswirkungen der Expositionen auf Verhalten, Lernen und Gedächtnis. Hinweise auf ein erhöhtes Tumorrisiko aufgrund der HF-Exposition ergaben sich ebenfalls nicht.⁶¹
- (51) Die Ergebnisse der Pilotstudie von Tillmann et al. (2010) konnten prinzipiell bestätigt und erweitert werden [...]. Erhöhte Tumorzinzidenzen fanden sich vor allem für das Bronchiolo-Alveolar Karzinom/Adenom und das hepatozelluläre Karzinom/Adenom. In der vorliegenden Studie wurden auch erhöhte Lymphom-Inzidenzen festgestellt. (Klose 2015, S.2)
- (52a) Insgesamt wurden keine Hinweise auf genotoxische oder chromosomenschädigende Effekte [...] in menschlichen Fibroblasten gefunden.⁶²
- (52b) Es ergaben sich keine Hinweise auf oxidative DNA-Schäden oder die besondere Empfindlichkeit einer Altersgruppe.⁶³
- (53a) Insgesamt zeigen die Daten, [...] dass die Hirnaktivität [...] des Wach- und des Schlaf-EEGs zwischen den Expositionsbedingungen variieren kann. Diese leichten physiologischen Veränderungen zeigen sich jedoch in der Regel weder für Verhaltensparameter noch für Symptome.
- (53b) Angesichts der Tatsache, dass die Hirnaktivität im Wachzustand und im Schlaf alters- und geschlechtsspezifisch variiert, ist unklar, inwieweit diese Ergebnisse, die für junge gesunde Männer beobachtet wurden, auf andere Altersklassen und auf Frauen übertragen werden können.⁶⁴
- (54a) [...] verminderte Fruchtbarkeit bei Menschen, die häufig ein Handy nutzen. Diese ist aber höchstwahrscheinlich durch die Lebensweise [...] und nicht durch elektromagnetische Felder verursacht. (Pophof 2014, S.4)
- (54b) Untersuchungen an Tieren zeigen [...] teilweise widersprüchliche Ergebnisse. Studien, die den qualitativen Ansprüchen einer guten wissenschaftlichen Praxis entsprechen, zeigen keinen gesundheitlich relevanten Einfluss [...]. (Pophof 2014, S.4)
- (56a) In der Mehrzahl der Mobilfunkstudien zum spontanen Wach-EEG wurden Veränderungen im Alphafrequenzbereich registriert. Für TETRA liegt lediglich ein Abschlussbericht [...] vor [...]. Es zeigten sich keine Expositionseffekte. (Sauter et al. 2014, S. 10)

61 http://www.emf-forschungsprogramm.de/akt_emf_forschung.html/wirkung_HF_001.html (28.9.2020)

62 http://www.emf-forschungsprogramm.de/akt_emf_forschung.html/bio_HF_001.html (28.9.2020)

63 http://www.emf-forschungsprogramm.de/akt_emf_forschung.html/bio_HF_001.html (28.9.2020)

64 <https://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2014090311644> (28.9.2020)

- (56b) Die größte Anzahl an Studien zu möglichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf den Menschen liegt in Bezug auf den Mobilfunk und kognitive Funktionen vor. Die Studienergebnisse sprechen sowohl für als auch gegen einen Effekt, wobei der Einfluss des Alters und des Geschlechts [...] in den wenigsten Studien berücksichtigt wurde. [...] Studien zu kognitiven Funktionen unter TETRA Exposition an Frauen und älteren Probandinnen und Probanden fehlen komplett. (Sauter et al. 2014, S. 11)
- (79) Insgesamt konnte mit dieser Arbeit gezeigt werden, dass durch Mobilfunkstrahlung mit Frequenzen der verbreiteten Modulationen GSM, UMTS und LTE sowie SAR-Werten, die unterhalb und oberhalb des empfohlenen Sicherheitsstandards liegen und typischerweise bei Handytelefonaten auftreten, keine Effekte in Zellen des blutbildenden Systems unter den gegebenen Versuchsbedingungen induziert wurden (Gläser 2017, S. VI).

4.5 Gesamtschau der Evidenz aus internationalen Forschungsprojekten

Im Folgenden werden die Erkenntnisse aus den aktuellen internationalen Forschungsprogrammen und -projekten zu einem Gesamtbild zusammengeführt. Die einzelnen Länderprogramme und sämtliche herangezogenen Forschungsarbeiten sind in Kapitel 8.1.2 aufgeführt. Aus dieser Studienbasis hat die FSM (2017) für jeden Endpunkt eine Einschätzung der kumulierten wissenschaftlichen Evidenz abgeleitet. Die methodische Herangehensweise ist in Kapitel 4.1 dargelegt. Der Fokus liegt – wie beschrieben – darauf, den wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt zu bewerten. Aus diesem Grund sind Studien, die wissenschaftlichen Qualitätsansprüchen nicht genügen, für diese Bewertung nicht berücksichtigt worden.⁶⁵

Was die hier vorgenommene Fokussierung der Analyse auf den Wissenszuwachs und die Identifikation zukünftiger Forschungsthemen konkret bedeutet, wird an folgendem Beispiel illustriert: liegen einige gut gemachte Studien vor, welche limitierte Hinweise auf einen Effekt zeigen (Farbe: blau), so wird die Evidenz als »limitiert« klassiert, auch wenn es noch eine Reihe Studien gibt, welche keinen Effekt zeigen (grün) oder deren Hinweise schwierig interpretierbar sind (gelb). Im Gegensatz dazu wäre bei einer auf die Risikobewertung fokussierte Analyse in diesem Fall die Klassifizierung »inadäquat« (gelb) konsequent, weil die Erkenntnislage widersprüchlich ist.

⁶⁵ In den Übersichtstabellen in Kapitel 8.1.2 sind solche Quellen hingegen aufgeführt und zur Identifizierung in Klammern gesetzt. Die entsprechenden Literaturangaben im Quellenverzeichnis in Kapitel 8.1.3 sind kursiv gesetzt.

4.5.1 Überblick

Tabelle 4.6 gibt einen Überblick über die Gesamtevidenz, wie sie von den Gutachtern der FSM (2017, S.38 ff.) eingeschätzt wurde. Die Diskussion und Schlussfolgerungen aus diesen Ergebnissen erfolgen in Kapitel 4.5.2. Die Hintergrundfarben der Zellen beziehen sich auf die Erkenntnisse aus dem DMF-Hauptprogramm (Tab. 4.4). Die Fälle, wo die neueren Forschungsergebnisse diese Erkenntnisse bestätigen, sind durch eine stärkere Sättigung der Farbe dargestellt. Von den DMF-Ergebnissen abweichende Befunde sind durch Nennung der Programm-Akronyme, aus denen die (abweichenden) Evidenzen stammen, kenntlich gemacht. Die Schriftfarbe entspricht der (abweichenden) Evidenzkategorie. Der Vergleich zwischen Schriftfarbe und Zellenfarbe zeigt die Richtung der Abweichung zwischen neuen Erkenntnissen und DMF-Bewertung. Evidenzen zu Endpunkten, welche im DMF nicht untersucht wurden, befinden sich in Zellen ohne (bzw. mit grauer) Hintergrundfarbe.

Tab. 4.6 Ergebnisse aus internationalen Forschungsprojekten

	Zellstudien	Tierstudien	Humanstudien		
			Biologie	Gesundheit akut	Gesundheit chronisch
Krebs	EU-S	(12) EU-S			
Tumore im Kopfbereich					(8)
Tumore bei Kindern					(6)
andere Tumore		(33) DMF+, NTP*			RoW
Neurodegeneration/neuronale Erkrankungen	ANSES, CH, RoW	(34) ANSES, CH, RoW			
Fertilität		(13) RoW			(20) RoW
Entwicklung		(14) RoW			
kardiovaskulär/Blutsystem	(28) DMF+	(29) RoW	(30) CH	(31) RoW, CH	(32) RoW
EEG			(22) CH, RoW	(19) RoW	

4.5 Gesamtschau der Evidenz aus internationalen Forschungsprojekten



Kognition			(23) RoW	(5)	
<i>Kinder</i>			DMF+, ZonMW		
Schlaf			(16) CH, ANSES	(17) RoW	
<i>Kinder</i>			ZonMW	(18) ZonMW	
unspezifische Symptome			(27) DMF+, ANSES, ZonMW	(4)	FSM, RoW
Nozeboeffekt				(26) ZonMW	
<i>Kinder</i>					
Hormone/Drüsen					
Melatonin					
Stressproteine/ Genexpression	(9) ANSES, RoW				
Blut-Hirn-Schranke		(1)			
Verhalten allg.		(15) RoW, ANSES		RoW	RoW
<i>Kinder und Jugendli- che</i>					RoW
Wirkmechanismen					
Genschädigung	(7)	RoW, EU- S			
Sauerstoffradikale	(11) RoW	(35) RoW, CH			
Genexpression	(10) ANSES, RoW				
Zellfunktionen/Memb- ran	(24) ANSES, RoW, CH	(37) RoW, CH			
anderes					
<i>Kinder und Jugendli- che allg.</i>					(21) RoW
<i>ältere Menschen</i>			DMF+		

^
 > 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF
 v

Immunsystem		(2)			
Metabolismus		(25) ZonMW			
Sinne (Gehör, Netzhaut)		(3)			
Zellen allg.	ANSES, CH, RoW	RoW			
Adaptive Response		(36) RoW			

DMF+: Nachfolgeaktivitäten des DMF (Kap. 4.4)
 PNREST: Frankreich (Kap. 8.1.2.2)
 CH: Schweizer Programm NFP57 (Kap. 8.1.2.3)
 EU-S: EU-Projekt »Seawind« (Kap. 8.1.2.4)
 FSM: Schweiz (Kap. 8.1.2.4)
 NTP: USA National Toxicology Program (Kap. 4.6)
 RoW: International (Kap. 8.1.2.6)
 ZonMW: Niederlande (Kap. 8.1.2.3)

Quelle: FSM 2017, S. 38

Lesehilfe

Bei 24 Endpunkten, die im DMF nicht untersucht wurden (keine bzw. graue Zellfarbe), liegen neue Erkenntnisse vor: Bei drei davon wurden keine Effekte gefunden (grüne Schrift, Z8, T8, B14)⁶⁶, bei 17 inadäquate Hinweise (gelbe Schrift, Z1, Z5, Z34, T24, T27, T34, B8, B11, B13, B30, Ga8, Ga21, Gc4, Gc8, Gc14, Gc21, Gc22), bei drei limitierte Hinweise (blaue Schrift, T5, T25, T35). Bei einem gelang der Nachweis eines Effekts (rote Schrift, T4) (Kap. 4.5.2.3).

Von den im Rahmen des DMF untersuchten 39 Endpunkten (davon 31-mal keine Effekte, 4 mal inadäquate Hinweise, 1 mal limitierte Hinweise, 3 mal Nachweis eines Effekts) gab es bei 13 keine neuen Erkenntnisse (Z18, Z20, Z31, T10, Ga16, Ga 29, Gc1, Gc7, Gc13, Gc16, Gc20, Gc31, Gc 33). Bei 8 konnten die DMF-Ergebnisse bestätigt werden. 6 davon wiesen keine Effekte nach (T20, T31, T33, Ga10, Ga14, Gc3), 2 lieferten nach wie vor inadäquate Hinweise (Z24, Gc2) (Kap. 2.5.2.1).

Neubewertungen aufgrund aktueller Forschungsergebnisse wurden in 19 Fällen vorgenommen (d.h. Zellfarbe und Schriftfarbe weichen voneinander ab) (Kap. 2.5.2.2):

- Grün→Gelb Z19, Z25, Z26, T1, T6, T7, B12, Ga9, Ga12, Gc6, Gc29
- Grün→Blau T21, Ga13
- Gelb→Blau B10

⁶⁶ In den Klammern wird die Zelle in der Tabelle 4.6 spezifiziert, auf die sich die Aussage bezieht. Spalten: Z (Zellstudien), T (Tierstudien), B (Biologie), Ga (Gesundheit akut) und Gc (Gesundheit chronisch). Die Zeilen sind von oben nach unten durchnummeriert.

- Blau→Rot B9
- Rot→Gelb Z27
- Rot→Blau T32, Ga15

4.5.2 Vergleich mit dem DMF-Hauptprogramm

Im Folgenden wird diskutiert, welche Bestätigungen, Relativierungen bzw. zusätzliche Erkenntnisse die neueren Forschungsergebnisse im Vergleich zum Kenntnisstand des DMF-Hauptprogramms erbracht haben.

4.5.2.1 Bestätigungen

Tabelle 4.6 zeigt, dass von den 39 Endpunkten, die im Rahmen des DMF-Programms untersucht und bewertet wurden, die folgenden 8 durch die neueren Forschungsergebnisse bestätigt wurden (Zellenfarbe satt):

Die Abwesenheit von Effekten bei Exposition gegenüber HF-EMF zeigte sich in Tierstudien zur Blut-Hirn-Schranke (T20) zum Immunsystem (T31) und zu Sinnesorganen – Auge, Gehör (T33). In Humanstudien zu akuten gesundheitlichen Effekten bestätigten die neueren Arbeiten die Einschätzung, dass HF-EMF kaum als Ursache für akute unspezifische Gesundheitssymptome gelten können (Ga14) und dass eine mögliche Beeinflussung von kognitiven Funktionen kein gesundheitliches Risiko darstellt (Ga10). Neuere Forschungsarbeiten zu chronischen gesundheitlichen Effekten zeigten, dass die gegenwärtig verfügbaren Daten zum Mobiltelefongebrauch und dem Hirntumorrisiko bei Kindern und Jugendlichen für den Beleg einer Risikoerhöhung nicht ausreiche (Gc3).

Zu konstatieren ist jedoch, dass nach wie vor die Fragen, ob HF-EMF auf zellulärer Ebene das Risiko von Genschädigungen erhöhen (Z24) und ob die Langzeitnutzung von Mobiltelefonen bei Erwachsenen das Risiko, an einem Tumor im Kopfbereich zu erkranken, vergrößert oder nicht (Gc2), momentan nicht mit Sicherheit beantwortet werden können.

4.5.2.2 Relativierungen bzw. Hinweise auf Effekte

Von den 25 (übrigen) Endpunkten, die gemäss DMF Abwesenheit von Effekten zeigen (grüne Zellfarbe), weisen aufgrund der neuen Studien 13 nicht mehr so eindeutig in diese Richtung (zu den dann noch verbleibenden 12 Effekten liegen keine neuen Erkenntnisse vor).

Die Relativierungen betreffen Zellstudien zu Stressproteinausschüttung (Z19), Genexpression (Z26) sowie zu Sauerstoffradikalen (Z25), die als ein möglicher Wirkmechanismus diskutiert werden, wie Zellfunktionen durch EMF beeinflusst werden könnten. Festzuhalten ist, dass aufgrund der neueren Studien ein

^
› 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF
v

solcher über Sauerstoffradikale vermittelter Wirkmechanismus nicht mehr ausgeschlossen werden kann.

Neuere Erkenntnisse aus Tierstudien weisen auf die Möglichkeit von Effekten durch EMF-Exposition hin. Dabei handelt es sich um die drei Themen Krebspromotion bei Labornagern (T1), Fertilität (T6) und Entwicklung (T7), für die jeweils (allerdings inadäquate) Nachweise gefunden wurden. Noch stärker ist die Evidenz dafür, dass HF-Exposition das Verhalten von Labortieren beeinflussen dürfte (T21, limitierter Nachweis).

Bei den Humanstudien wurden bei 5 Endpunkten Hinweise auf eine Wirkung von HF-EMF erwogen. Sie betreffen eine mögliche Beeinflussung des Schlafs (B12, Ga12), wobei die Nachweise insgesamt noch inadäquat sind. Bei Kindern hingegen konnte ein limitierter Nachweis hinsichtlich Einschränkungen der Schlafqualität geführt werden (Ga13). Allerdings wurden diese Einschränkungen der Schlafqualität von den Autoren der Studie nicht auf die EMF-Exposition zurückgeführt, sondern durch den Mobiltelefongebrauch während der Abend- und Nachtstunden (Huss et al. 2015).

Ebenso unsicher sind aufgrund der neueren Erkenntnisse Aussagen aus Humanstudien zur Fertilität (Gc6) und zu möglichen Effekten bei Kindern und Jugendlichen allgemein (Gc29).

Die Hinweise, dass das EEG durch Mobilfunkexposition beeinflusst wird, haben sich verdichtet (B9). Neuere Studien haben diesen biologischen oder physiologischen (nicht: gesundheitlichen) Effekt mehrfach (wenn auch nicht inter- und intraindividuell konsistent) nachgewiesen (Danker-Hopfe et al. 2019b). Welche Relevanz dieser Befund in Bezug auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen aufweist, ist jedoch unklar (Ga9).

Ähnlich verhält es sich beim Einfluss von EMF auf kognitive Funktionen (B10), der limitiert nachgewiesen wurde. Gesundheitliche Auswirkungen konnten jedoch keine identifiziert werden (Ga10).

Bei drei Endpunkten, für die im DMF die Existenz von Effekten der EMF-Exposition als hinreichend nachgewiesen beurteilt wurden, haben sich die Indizien abgeschwächt: bei der Thematik der Beeinflussung von Zellfunktionen und Zellmembranen in Laborexperimenten mit Zellkulturen (Z27) kann unter Einschluss der neueren Forschungsergebnisse nur noch von einem inadäquaten Nachweis gesprochen werden. Bei der Beeinflussung des Metabolismus von Versuchstieren (T32) sowie der Elektrosensibilität als Nozeboeffekt (Ga15) ist der Nachweis immerhin noch als limitiert zu betrachten.

4.5.2.3 Zusätzliche Erkenntnisse und Hinweise auf Wirkungen von EMF

Von den Endpunkten, die nicht im DMF-Hauptprogramm untersucht wurden, werden im Folgenden 6 besonders interessante Befunde dargestellt:



(I) *Unspezifische Symptome* sind mit einiger Sicherheit nicht kausal durch EMF verursacht. Entsprechende biologische Wirkungen der Exposition im Organismus wurden nicht nachgewiesen (B14). Es ist naheliegend, dass konstatierte Symptome wesentlich auf dem Nozeboeffekt beruhen, also durch die Überzeugung von der Schädlichkeit der EMF-Exposition bewirkt werden. Dieser Effekt wurde in mehreren Studien beschrieben (Ga15). Zugleich ist jedoch nicht auszuschließen, dass Menschen tatsächlich sensibel auf HF-EMF reagieren können.

(II) Zell- und Tierstudien weisen auf eine Abwesenheit von Effekten auf das *blutbildende bzw. kardiovaskuläre System* hin (Z8, T8). Humanstudien sind schwieriger zu interpretieren. Aufgrund der (wenigen) verfügbaren Daten kann keine seriöse bzw. abschließende Aussage zu diesem Endpunkt gemacht werden (B8, Ga8, Gc8).

(III) Aus Tierstudien gibt es eine Reihe von ernstzunehmenden Hinweisen, dass HF-EMF das *Tumorrisiko* bei ausgewählten Tumoren (Herz, Lunge, Leber, Lymphe) erhöhen (T4). Diese Befundlage wird aktuell in der Fachwelt und von Bewertungsgremien in vielen Ländern intensiv diskutiert, da kürzlich die Ergebnisse zweier großer, qualitativ hochwertiger Studien vorgelegt wurden. Da sich an diesem Thema viele Charakteristika der Bewertungs- und Grenzwertdebatten anschaulich aufzeigen lassen, wird dies ausführlich in Kapitel 3 des vorliegenden Berichts erörtert.

(IV) Ebenfalls bei Tierstudien sind limitierte Hinweise gefunden worden, dass EMF einen Einfluss auf *neurodegenerative Erkrankungen* haben könnten (T5).

(V) Möglicherweise spielt dabei eine unter EMF-Exposition höhere Anzahl *Sauerstoffradikale* in Zellen eine Rolle. Der Nachweis dieses Effekts in Zellstudien ist zwar noch nicht überzeugend (Z25), aber neuere Tierstudien stützen mit limitierter Evidenz diesen Befund (T25).

(VI) Mehrfache neuere Hinweise gibt es auch auf Effekte von HF-EMF bei Koexposition. Konkret: wenn Versuchstiere HF-EMF ausgesetzt werden und im Anschluss daran schädlicher ionisierender Strahlung (z. B. Röntgenstrahlung), dann beobachtet man eine bessere Anpassung der Tiere an die ionisierende Strahlendosis (T35). Dieser Zusammenhang wird *Adaptive Response* genannt. Diese Befunde weisen darauf hin, dass HF-EMF die Zellfunktionalität beeinflussen könnten (vgl. mit Z27, T27). Dies könnte möglicherweise auch in gesundheitlicher Hinsicht bedeutsam sein, aber ein wissenschaftlicher Nachweis hierfür existiert bislang nicht.

4.5.2.4 Ausgewählte Endpunkte

Im Folgenden werden mit Blick auf mögliche zukünftige Forschungsthemen wichtige neuere Erkenntnisse ausgewählter Endpunkte kommentiert.

Krebs

Bezüglich der Einschätzung des Krebsrisikos für Menschen hat sich die Sachlage in den letzten ca. 10 Jahren nicht wesentlich verändert. Die Einschätzung der IARC (Internationale Krebsforschungsagentur der WHO) kann als eine in der Wissenschaft breit geteilte Basis genommen werden, wenngleich diese nicht einstimmig geteilt wird. In dieser Einschätzung wurden HF-EMF der Kategorie 2B zugeordnet: möglicherweise kanzerogen⁶⁷ (IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 2013, S.419).

Neuere epidemiologische Studienresultate haben an dieser Sachlage bislang nicht grundsätzlich etwas geändert. Statistische Auswertungen von Krebsregistern zeigen keine ansteigenden Fallzahlen, Hinweise aus Studien zu Kindern und Jugendlichen haben ebenfalls keine erhöhten Risiken offengelegt. Allerdings ist zu konstatieren, dass die Interpretationsspielräume beträchtlich sind, weil retrospektive Fallkontrollstudien, auf die sich die Risikoeinschätzungen größtenteils stützen, mit großen methodischen Unsicherheiten behaftet sind.

Neuere Tierstudien zeigen nunmehr erhöhte Inzidenzen. Die DMF-Studie von Lerchl et al. (Lerchl et al. 2015; Lerchl 2018) hat Befunde aus einer früheren Arbeit (Tillmann et al. 2010) bestätigt. Danach zeigen sich bei Mäusen, die mit einem karzinogenen Stoff (hier: Ethylnitrosoharnstoff) behandelt wurden, mehr Leber- und Lungentumore sowie erhöhte Werte von Lymphomen, wenn die Tiere gegenüber HF-EMF exponiert werden. Allerdings konnte kein klarer Dosis-Wirkung-Zusammenhang gefunden werden.

Sodann zeigte sich in zwei aktuellen Studien, die mit einer sehr großen Anzahl an Versuchstieren (Ratten und Mäuse) sowie mit hohem wissenschaftlichem Standard durchgeführt wurden, dass Exposition mit HF-EMF Signalen, wie sie von Mobiltelefonen genutzt werden (GSM und UMTS), zu größeren Inzidenzen bestimmter Tumoren bzw. deren Vorstufen führten.

Insgesamt gesehen gehören diese Befunde zu den wichtigsten der letzten Jahre. Da es sich um replizierte Hinweise auf Effekte handelt, sollte ihnen intensiv mit weiterer hochqualitativer Forschung nachgegangen werden. Immerhin stellen sie einen nicht unwesentlichen Aspekt in der Risikobeurteilung für den Menschen dar.

67 Die IARC klassifiziert die Evidenzen in die Kategorien: 1: kanzerogen, 2a: wahrscheinlich kanzerogen, 2b: möglicherweise kanzerogen, 3: nicht klassifizierbar, 4: wahrscheinlich nicht kanzerogen. Die »IARC Monographs Advisory Group« hat eine Empfehlung für abgegeben, dass hochfrequente elektromagnetische Felder aufgrund neuer vorliegender Ergebnisse in den Jahren 2020 bis 2024 neu bewertet werden sollten (IARC Monographs Advisory Group 2019).



Neurodegenerative Erkrankungen

Dieser Aspekt wurde im Rahmen des DMF nicht untersucht. Bislang lagen über einen möglichen Zusammenhang zwischen HF-EMF und neurodegenerativen Erkrankungen keine aussagekräftigen Humanstudien vor. Die Forschungsaktivitäten betreffen Laborexperimente mit neuronalen Zellen und Tierstudien.

Es liegen nunmehr jedoch zwei Studien vor, die auf einen negativen Einfluss auf das Wachstum von Neuriten – langgestreckte Fortsätze von Nervenzellen – hinweisen (Chen et al. 2014; Narayanan et al. 2015). Sollte sich dieses Resultat bestätigen, wäre dies für die Entwicklung von neurodegenerativen Erkrankungen von großer Relevanz, denn Neuriten sind Vorstufen von Dendriten und Axonen. Aufgrund der zahlreichen möglichen Auswirkungen auf neurodegenerative Erkrankungen sowie auf die Kognition sollte dieser Punkt weiter abgeklärt werden.

Evidenzen zu anderen Endpunkten

Fertilität

Die verfügbaren Ergebnisse sind uneinheitlich, was wesentlich durch mangelhafte Expositionserfassung und fehlende Berücksichtigung von Kofaktoren bedingt ist. Um die Uneinheitlichkeit der Befunde aufzuklären, ist weitere qualitativ hochwertige Forschung erforderlich.

Entwicklung

Auch hier sind die vorliegenden Ergebnisse uneinheitlich. Aufgrund der sehr geringen Exposition von Föten im Mutterleib scheint es eher nicht sehr plausibel, dass HF-EMF des Mobilfunks (oder anderen HF-Quellen im Kommunikationsbereich) eine relevante Wirkung auf die Entwicklung von ungeborenem Leben haben können. Der Klärungsbedarf ist deshalb eher nicht vordringlich.

Kardiovaskuläres System

Aus Zell- und Tierstudien liegen keine Hinweise vor, die auf Effekte von HF-EMF auf das kardiovaskuläre System hindeuten. Befunde aus den wenigen qualitativ akzeptablen Humanstudien, welche auf Effekte hinweisen, erlauben momentan keine klinischen Schlussfolgerungen.

EEG

Dass HF-EMF Effekte (biologische Signale) auf das EEG ausüben können, ist überzeugend nachgewiesen worden. Allerdings ist unklar, ob bzw. wenn vorhanden welche gesundheitliche Bedeutung diese Effekte haben. Systematische Forschung wäre hilfreich.

^ 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF v

Kognition

Neuere Studien zeigen wiederholt Effekte auf kognitive Funktionen. Es scheint, dass das Gehirn auf HF-EMF Exposition unterhalb der Grenzwerte reagieren kann. Ob solche Einflüsse von gesundheitlicher Bedeutung sein können (z. B. via Reaktionsvermögen, Aufmerksamkeit), sollte abgeklärt werden. Erkenntnisse zur inter- und intraindividuellen Variabilität der Effekte wären sehr hilfreich für die Beurteilung ihrer Relevanz.

Schlaf

Die Resultate betreffend (biologischer) Schlafparameter sind nicht eindeutig. Die Studien bezüglich Gesundheit (subjektive Schlafqualität) zeigen mehrheitlich keinen Einfluss.

Unspezifische Symptome

Bei den unspezifischen Symptomen haben sich die Resultate, die für Nozeboeffekte sprechen, verstärkt. Es scheint so zu sein, dass Angst vor möglichen negativen Wirkungen der HF-EMF akute Symptome des Unwohlseins provoziert. Allerdings ist es nicht auszuschließen, dass es eine kleine Gruppe von besonders sensiblen Personen geben könnte.

Blut-Hirn-Schranke

Aus den vorliegenden Ergebnissen von Tierstudien lässt sich gegenwärtig keine Evidenz für einen Effekt von HF-EMF auf die Blut-Hirn-Schranke ableiten.

Verhalten

In Tierversuchen wurden wiederholt Effekte von HF-EMF auf das Verhalten festgestellt. Humanstudien zu diesem Thema bleiben hingegen uneindeutig. Ein Grund hierfür sind methodische Schwierigkeiten bei der Expositionserfassung, die wohl auch in Zukunft kaum umzugehen sind. Das gilt ganz besonders, wenn es um mögliche chronische Effekte geht, etwa Verhaltensauffälligkeiten, die durch vorgeburtliche Exposition erklärt werden. Bei der Interpretation solcher Studien ist äußerste Zurückhaltung geboten.

Wirkmechanismen

Befunde aus Zellstudien zu möglichen Einflüssen von HF-EMF auf Genschädigung, Genexpression, Produktion von Sauerstoffradikalen oder allgemeine Zellfunktionen sind uneindeutig. Das hängt u. a. damit zusammen, dass die zu untersuchenden Effekte meist sehr klein sind. Es ist nicht auszuschließen, dass die Heterogenität der Befunde mit einer Sensitivität von (nur bestimmten) Zellen für



bestimmte Signale zusammenhängt. Möglicherweise sind die Effekte auch von bestimmten Zellzuständen abhängig.

Nicht mit höchsten Qualitätsstandards durchgeführte Experimente sind problematisch, da sie Effekte maskieren oder generieren können. Eine Meta-Analyse publizierter Zellstudien hat gezeigt, dass in Studien höherer Qualität deutlich seltener Effekte nachgewiesen wurden als in solchen minderer Qualität (Vijayalaxmi und Prihoda 2012, 2019). Klarere Hinweise gibt es aus Tierversuchen hinsichtlich der Produktion von Sauerstoffradikalen unter EMF-Exposition. Interpretationen bezüglich der gesundheitlichen Relevanz sind nicht einheitlich. Gesundheitliche Auswirkungen können beispielsweise durch natürliche Zellreparaturmechanismen kompensiert oder maskiert werden.

Adaptive Response

Neue Studien zeigen eine veränderte Zellantwort auf Auswirkungen von ionisierender Strahlung bzw. Chemikalien bei vorheriger EMF-Exposition. Alle publizierten Studienresultate weisen in dieselbe Richtung, sodass sich hier gezielte Arbeiten über mögliche Wirkmechanismen lohnen könnten.

4.5.3 Wichtige Fortschritte bei Dosimetrie und Exposimetrie in Untersuchungen

In den letzten Jahren wurden systematische Messkampagnen zur Erfassung der durchschnittlichen Exposition in mehreren Städten und Regionen weltweit durchgeführt. Die Methoden und Geräte dazu wurden weiterentwickelt und erlauben inzwischen eine recht verlässliche Expositionsbestimmungen und gute Abschätzungen der verbleibenden Messunsicherheit. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die durchschnittlichen Emissionswerte von Basisstationen des Mobilfunks (Antennen-Infrastruktur) größenordnungsmäßig 1.000 bis 10.000-fach unterhalb der Grenzwerte liegen. Die gemessenen Höchstwerte liegen immer noch um einen Faktor 10 unterhalb der Grenzwerte. Im Allgemeinen ist die Immission durch Basisstationen im Außenbereich niedriger als die Pegel, die üblicherweise in Innenräumen gemessen werden. Bei Letzteren dominieren meist die eigenen Quellen (Signale von DECT-Telefonen und -Stationen, WLAN Access Points, Peripheriegeräte, etc.; Kap. 2). Die gemessenen Werte von WLAN und anderen Drahtlostechnologien in Innenräumen bleiben aber selbst unter sehr ungünstigen Expositionsannahmen ebenfalls deutlich unterhalb der Grenzwerte (Kap. 2.2).

In epidemiologischen Studien wurden verbesserte Modelle für die persönliche Exposition verwendet und der Anteil von Missklassifikationen konnte so reduziert werden. Die verbesserte Klassifikation der Exposition hat in vielen Fällen zur Klärung der zum Teil widersprüchlichen Datenlage beigetragen.

Für die numerische Charakterisierung von Expositionsszenarien und Expositionseinrichtungen wurden detailliertere und verbesserte anatomische Modelle

^
› 4 Forschungsstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF
v

von verschiedenen Menschen erstellt. Diese erlauben auch unterschiedliche Körperhaltungen von Personen im Alltag zu modellieren und ermöglichen so eine bessere Abschätzung der im Alltag entstehenden Variation der Exposition. Im Weiteren wurden systematische Untersuchungen zur altersabhängigen Veränderung der dielektrischen Materialeigenschaften von biologischen Geweben durchgeführt. Diese ergaben keinen wesentlichen Einfluss auf die berechnete Absorption.

In vielen experimentellen Studien mit Zellen und Labortieren werden inzwischen bezüglich der Absorption gut charakterisierte Expositionseinrichtungen verwendet, die auch ausreichend durch experimentelle Messmethoden validiert sind.

4.5.4 Defizite bei experimentellen und epidemiologischen Untersuchungsdesigns

In vielen Experimenten mit Zellen und Labortieren werden nach wie vor zu wenig detaillierte Angaben über die Verteilung der Energieabsorption gemacht. In Versuchen mit Labortieren hat die Angabe der durchschnittlichen Ganzkörperabsorption nur beschränkte Aussagekraft. Da die Absorption innerhalb der verschiedenen Regionen und Gewebe um den Faktor 10 und mehr variieren kann, wären ausführlichere Angaben zu den Werten in den verschiedenen Organen und Geweben sinnvoll. Dies würde auch eine bessere Vergleichbarkeit der Resultate aus verschiedenen Studien ermöglichen. Im Weiteren fehlt in vielen Experimenten die Temperaturkontrolle. Dies ist nicht in allen Fällen während des Studienverlaufs zu gewährleisten, jedoch würde ein verbessertes Monitoring verschiedener Umgebungs- und/oder physiologischer Parameter aber eine genauere Abschätzung des Einflusses von Nebeneffekten bzw. eine bessere Unterscheidung zwischen thermischen und nichtthermischen Effekten erlauben.

In epidemiologischen Studien besteht immer noch die Unsicherheit betreffend den Einfluss der eigenen Mobilgeräte auf die persönliche Exposition. Geräte und Methoden zur Erfassung dieser Anteile sind derzeit nicht verfügbar. Außerdem wurde ein großer Einfluss der Kopfanatomie auf die Energieabsorption in spezifischen Regionen des Hirns festgestellt. Daher müssten für epidemiologische Studien zum Zusammenhang von Mobiltelefongebrauch und Hirntumoren jeweils die zu den Personen gehörenden Spezifika der Kopfanatomien bei den Analysen berücksichtigt werden. Dies würde allerdings den Modellierungsaufwand beträchtlich erhöhen und Werkzeuge zur automatischen Kategorisierung von anatomischen Daten aus bildgebenden Verfahren erfordern (z.B. KI-gestützte). Die Resultate bisheriger Studien über den Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Hirntumoren stehen insofern unter einem gewissen Vorbehalt, da die tatsächliche Exposition – die von den tumor betroffenen Hirnregionen real absorbierte Strahlungs-dosis – mit diesem Verfahren nur geschätzt werden kann. Das heißt, eine damit einhergehende Fehlklassifikation der

Exposition kann sowohl zu einer Überschätzung führen, jedoch auch zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Risikos.

4.6 Fazit

Neuere Erkenntnisse aus Tierstudien weisen auf die Möglichkeit von Effekten durch EMF-Exposition hin. Dabei handelt es sich um die Aspekte Krebspromotion bei Labornagern, Fertilität und Entwicklung. Evidenz scheint es auch dahingehend zu geben, dass HF-Exposition das Verhalten von Labortieren beeinflusst. Auch gibt es eine Reihe von ernstzunehmenden Hinweisen, dass HF-EMF das *Tumorrisiko* bei ausgewählten Tumoren (Herz, Lunge, Leber, Lymphe) erhöhen. Diese Befundlage wird aktuell in der Fachwelt und von Bewertungsgremien in vielen Ländern intensiv diskutiert, da 2020 die Ergebnisse zweier großer, qualitativ hochwertiger Studien vorgelegt wurden (Kap. 6). Ebenfalls bei Tierstudien sind limitierte Hinweise gefunden worden, dass EMF einen Einfluss auf *neurodegenerative Erkrankungen* haben könnten. Möglicherweise spielt dabei eine unter EMF-Exposition höhere Anzahl *Sauerstoffradikale* in Zellen eine Rolle. Der Nachweis dieses Effekts in Zellstudien ist zwar noch nicht überzeugend, aber neuere Tierstudien stützen mit limitierter Evidenz diesen Befund. Im Hinblick auf Krebsentstehung können neuere Tierstudien erhöhte Inzidenzen zeigen. Danach zeigen sich bei Mäusen, die mit einem karzinogenen Stoff (hier Ethylnitrosoharnstoff) behandelt wurden, mehr Leber- und Lungentumore sowie erhöhte Werte von Lymphomen, wenn die Tiere gegenüber HF-EMF exponiert werden. Allerdings konnte kein klarer Dosis-Wirkung-Zusammenhang gefunden werden.

Auch bei neueren Humanstudien werden Hinweise auf einige (negative) Wirkungen von HF-EMF in Erwägung gezogen. Sie betreffen eine mögliche Beeinflussung des Schlafs, wobei die Nachweise insgesamt inadäquat sind, bei Kindern hingegen konnte ein limitierter Nachweis hinsichtlich Einschränkungen der Schlafqualität geführt werden. Auch weisen experimentelle Studien auf einen negativen Einfluss auf das Wachstum von Neuriten (langgestreckte Fortsätze von Nervenzellen) hin. Sollten sich diese Resultate in weiteren Repliken

bestätigen, wäre dies für die Entwicklung von neurodegenerativen Erkrankungen von großer Relevanz, denn Neuriten sind Vorstufen von Dendriten und Axonen. Aufgrund der zahlreichen möglichen Auswirkungen auf neurodegenerative Erkrankungen sowie auf die Kognition sollten diese Aspekte in weiteren Forschungen abgeklärt werden.



5 Mögliche gesundheitliche Wirkungen bzw. Risiken durch HF-EMF speziell bei Kindern und älteren Menschen

Ziel dieses Kapitels ist die Analyse und bewertende Einordnung des aktuellen Kenntnisstands zu den biologischen und gesundheitlichen Wirkungen durch HF-EMF-Exposition bei Mobiltelefonie und anderen funkgestützten Anwendungen (Schnurlostelefonie, WLAN, Bluetooth etc.) auf Kinder und Jugendliche. Als Erweiterung zur Bewertung sensibler Personengruppen wurden außerdem die Wirkungen von mobilen Kommunikationsgeräten auf ältere Menschen recherchiert und dargestellt.

Die Exposition von Kindern und Jugendlichen durch HF-EMF ist in den letzten Jahren stark angestiegen, vor allem da die Nutzung von Mobiltelefonen mittlerweile sehr verbreitet ist (Kabali et al. 2015; Kilic et al. 2019). So nutzen 2019 in Deutschland 54% der Kinder im Alter von 6 bis 7 Jahren gelegentlich ein Smartphone, und 75% der Kinder im Alter von 10 bis 11 Jahren besitzen sogar ein eigenes Mobiltelefon (Bitkom 2019). In vielen anderen Ländern liegt dieser Anteil noch höher, etwa in Großbritannien, wo 83% der Grundschüler ein Mobiltelefon nutzen (Toledano et al. 2019) und in den USA, wo dies 95% der Jugendlichen (Anderson und Jiang 2018) taten.

Mögliche gesundheitliche Auswirkungen von EMF für junge Menschen rückten erstmals durch den britischen »Stewart-Report« (Stewart 2000) in den Blickpunkt. Hier wurde auf die besondere Empfindlichkeit von Kindern und Jugendlichen im Hinblick auf das sich entwickelnde Nervensystem, die Besonderheiten von Anatomie und Physiologie im Kopfbereich sowie die (prospektiv) längere Exposition durch Mobilfunk aufgrund der Lebenszeit im Vergleich zu Erwachsenen hingewiesen. Zahlreiche Publikationen und (Advisory Group on Non-ionising Radiation 2012; Gandhi et al. 2012; Markov und Grigoriev 2015; Morris et al. 2015; Redmayne und Johansson 2015) stützen die Annahmen aus dem Stewart-Report, dass Kinder aufgrund ihrer Anatomie und Physiologie im Vergleich zu Erwachsenen stärker exponiert sind. Morris et al. (2015) zufolge müssen Kinder grundsätzlich für empfindlicher als Erwachsene angesehen werden, da sie sich im Wachstum befinden, und auch nach Ansicht der WHO (2003) deswegen entsprechend gesondert betrachtet werden müssen.

Ob Kinder tatsächlich mehr Energie bei der Mobilfunknutzung absorbieren als Erwachsene, ist jedoch umstritten (Foster und Chou 2014, 2016; Gandhi 2015; Grigoriev 2004; Morris et al. 2015; van Rongen 2004). Ein Review von Lee und Kwon (2015) mit elf dosimetrischen Studien legt nahe, dass die im Gehirn absorbierte Energie eher von individuellen Eigenschaften, insbesondere der Kopfgröße, abhängig ist und weniger vom Alter. Ein weiterer Review (Foster und Chou 2014) kommt auf der Basis von 23 Artikeln zu dem Schluss, dass die

^
> 5 Mögliche Risiken durch HF-EMF speziell bei Kindern und älteren Menschen
v

meisten Expositionsmessgrößen von Mobiltelefonen unabhängig vom Alter des Menschen sind, jedoch die spezifische Absorptionsrate (SAR-Wert) in bestimmten Regionen des Gehirns mit der Kopfgröße und mit den dielektrischen Eigenschaften des Gewebes – und somit mit dem Alter – variiert. Trotz der inkonsistenten Datenlage waren die im Stewart-Report postulierten Annahmen für verschiedene Behörden (ANSES 2016a; BfS 2018; Föderaler Öffentlicher Dienst Volksgesundheit, Sicherheit der Nahrungsmittelkette und Umwelt (FÖD) 2014; Israel Ministry of Health 2019; Redmayne et al. 2016) Anlass, Vorsorgemaßnahmen zur Reduzierung der Nutzung von Mobilfunktechnologien durch Kinder und Jugendliche zu empfehlen. Aufgrund dessen und auch auf Empfehlungen der WHO (2006b, 2010) wurde die Forschung im Bereich der Wirkungen von Mobilfunk auf Kinder verstärkt.

Obwohl sich etliche Autoren und Behörden (ANSES 2016a; Health Council of the Netherlands 2011; Lin 2019; Sage und Burgio 2018) mit einem möglicherweise erhöhten Risiko für die Gesundheit von Kindern und Jugendlichen im Kontext von Mobilfunk und seinen Anwendungen beschäftigt haben, ist die wissenschaftliche Evidenz, ob EMF von Funktechnologien tatsächlich eine besondere Gefahr für Kinder und Jugendliche darstellen, bislang unklar (Feychting 2011; SCENIHR 2015; Advisory Group on Non-ionising Radiation 2012). Eine systematische Auswertung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstands zu den Wirkungen von HF-EMF auf Kinder und Jugendliche gab es bis dato nicht. Viele Länder, so auch Deutschland, berücksichtigen dies bei der Festlegung der Basisgrenzwerte für HF-EMF durch einen pauschalen Sicherheitsfaktor von 50, um so auch empfindliche Personengruppen wie Kinder und ältere Personen ausreichend zu schützen – d.h. die Grenzwerte liegen fünfzigfach unter den Werten, für die (nachweislich) gesundheitliche Wirkungen auftreten könnten (Kap. 3 – Grenzwerte).

Den folgenden Ausführungen liegen die Erkenntnisse und Aussagen des Gutachtens von femu (2019) zugrunde, das in der Verwendung für dieses Kapitel gekürzt und sprachlich überarbeitet wurde. Der für das Gutachten erfolgte systematische Review wurde nach den Preferred-Reporting-Items-for-Systematic-Reviews-and-Meta-Analyses-(PRISMA-)Richtlinien erstellt (Moher et al. 2009) (detaillierte Beschreibungen der Methodologie findet sich u. a. bei Petri et al. 2017; Schmiedchen et al. 2018; Bodewein et al. 2019).



Methodik des systematischen Reviews/Gutachtens (femu 2019)

Die systematische Literatursuche nach relevanten Artikeln wurde in der thematisch spezialisierten Literaturdatenbank EMF-Portal⁶⁸ durchgeführt, der weltweit umfangreichsten wissenschaftlichen Literaturdatenbank zu biologischen und gesundheitsbezogenen Wirkungen von magnetischen, elektrischen und elektromagnetischen Feldern. Sie wurde von der WHO als Referenzdatenbank anerkannt (WHO 2019), besteht seit über 15 Jahren, ist kostenfrei zugänglich und umfasste zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung (2019) ca. 28.500 wissenschaftliche Veröffentlichungen. Relevante Studien werden täglich anhand systematischer Suchstrategien in internationalen Literaturdatenbanken wie Medline/PubMed⁶⁹ und IEEE Xplore Digital Library⁷⁰ identifiziert und nach erfolgter Sichtung bzw. Prüfung durch Expert/innen des femu in das EMF-Portal aufgenommen. Wissenschaftliche Zeitschriften, die in diesen Datenbanken nicht enthalten sind, werden separat gesichtet und geprüft. Alle in das EMF-Portal eingehenden Studien werden nach grundlegenden Merkmalen, wie Expositionsparameter (z.B. Frequenz, Art des Feldes), Art der Veröffentlichung (z.B. Originalstudien, Review, Kommentar) und Studiendesign (z.B. experimentelle oder epidemiologische Studie) kategorisiert. Jeder Artikel wird nach einem standardisierten Schema mit zusätzlichen Details charakterisiert, um hochspezifische Suchen zu ermöglichen.

Bei der Suche im EMF-Portal wurden folgende Begriffe verwendet: »adolescents OR newborn OR foetus OR child OR elder OR elderly OR senior«⁷¹. Die automatische Übersetzung des Suchbegriffs und dessen Verknüpfung mit Synonymen und Wortformen über das Glossar des EMF-Portals ermöglichte zugleich die Abfrage der Begriffe »Kind«, »Teenager« und »Jugendlicher«. Die Begriffe wurden im Titel, Abstract und in den Medical-Subject-Headings-(MeSH-)Terms der Artikel gesucht. Zusätzlich wurde eine spezifische interne Abfrage in der Datenbank für epidemiologische Studien zu allen Studien durchgeführt, in denen Personen mit einem Alter ≥ 50 Jahre untersucht wurden.⁷²

68 www.emf-portal.org (28.9.2020)

69 www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed (28.9.2020)

70 www.ieeeexplore.ieee.org (28.9.2020)

71 Link zur Suche: <https://www.emf-portal.org/de/article/search/results?keywords=adolescents+newborn+foetus+child+elder+senior+elderly&logicalOperator=1&authors=&authorMatchingMode=0&journals=&journalMatchingMode=0&years=1990-2018&topics%5B%5D=0&topics%5B%5D=1&topics%5B%5D=2&topics%5B%5D=3&topics%5B%5D=4&topics%5B%5D=5&topics%5B%5D=6&topics%5B%5D=7&topics%5B%5D=8&topics%5B%5D=9&frequencyRanges%5B%5D=0&frequencyRanges%5B%5D=1&timeSpan=0&extractionState=0> (23.4.2020)

72 Link zum Abfrageergebnis: <https://www.emf-portal.org/de/article/list/1> (28.9.2020)

Studienauswahl – Ein- und Ausschlusskriterien

Die Einschlusskriterien wurden nach der Population-Exposure-Control-Outcome-Study-design-(PECOS-)Strategie definiert (National Toxicology Program 2015b). Die relevanten Studien erfüllten somit folgende Voraussetzungen:

- › Population: Kinder/Jugendliche (< 8 Jahre); ältere Menschen (≥ 65 Jahre)
- › Exposition: HF-EMF des Mobilfunks und anderer kabelloser Kommunikationsgeräte im Frequenzbereich 800 MHz bis 3 GHz
- › Kontrolle (Vergleichsgruppe): niedrigere oder Scheinexposition
- › Ergebnis: allgemeine Wirkungen auf die Gesundheit, das Verhalten oder sonstige biologische Reaktionen
- › Studiendesign: experimentelle Studien (einfache Blindstudie, Doppelblindstudie), epidemiologische Studien (Kohortenstudie, Fallkontrollstudie und Querschnittstudie)

Die Definition der Altersklassen der Population richtete sich für Kinder und Jugendliche nach der gängigen Definition < 18 Jahre, wie sie z. B. im deutschen Recht verankert ist (§ 1 Abs. 2 JGG) und auch von den Krankenkassen genutzt wird (KBV 2019). Für ältere Menschen gibt es keine allgemeingültige Definition, meist sind Personen ab 65 Jahren gemeint (Bundesregierung 2008; National Center for Biotechnology Information (NCBI) 2019). Diese Altersgrenze wurde auch hier verwendet.

Konkret musste sich im Titel und/oder Abstract des Artikels ein Hinweis darauf finden, dass Kinder, Jugendliche oder ältere Menschen untersucht wurden. Die Publikationen mussten Informationen zur HF-EMF-Exposition mit Bezug zur kabellosen Kommunikation beinhalten. Wenn in epidemiologischen Studien die Wirkung der Nutzung eines Mobiltelefons untersucht wurde, musste im Text der Bezug zu HF-EMF enthalten sein. Bei experimentellen Studien mussten die Expositionsquelle und -dauer sowie die Feldstärke angegeben und in epidemiologischen Studien eine Expositionsabschätzung für das Individuum erfolgt sein. Eingeschlossen wurden nur solche englisch- und deutschsprachigen Artikel, die in Fachzeitschriften mit einem Peer-Review-Verfahren veröffentlicht wurden. Der Zeitpunkt der Veröffentlichung war auf Studien nach 1990 beschränkt, da vor diesem Zeitpunkt keine nennenswerte Exposition durch Mobilfunk gegeben war; berücksichtigt wurden Studien, die bis zum 26.10.2018 publiziert und dokumentiert waren.

Studienextraktion

Alle potenziell relevanten Artikel wurden anhand der Ein- und Ausschlusskriterien in zwei Schritten überprüft. Zunächst wurden Titel und Abstracts unabhängig von zwei Gutachtenautoren durchgesehen. Anschließend wurden die



Volltexte aller Artikel, die im ersten Schritt nicht ausgeschlossen wurden, unabhängig von mehreren Gutachtenautoren überprüft (Eignung) und gemeinsam über deren Berücksichtigung entschieden.

Die extrahierten Daten umfassen bibliografische Angaben, das Studiendesign, Anzahl und Alter der Studienteilnehmenden, die Expositionsquelle, den Untersuchungsschwerpunkt (Endpunkt) und die Ergebnisse. Bei epidemiologischen Studien wurden zusätzlich die verwendete Kohorte, die Art der Exposition (z. B. Jahre der Mobilfunknutzung, tägliche Anzahl an Anrufen) und die Abschätzungsmethode (z. B. Messung, Fragebogen) erfasst. Bei experimentellen Studien wurden zudem die untersuchten Gruppen, die Frequenz, die Feldstärke und die Expositionsdauer extrahiert. Die Daten der berücksichtigten Studien wurden unabhängig voneinander von zwei Gutachtenautoren extrahiert und abgeglichen. Unstimmigkeiten und technische Unklarheiten wurden diskutiert und ggf. mithilfe weiterer Recherche ein Konsens hergestellt.

Studienbewertung

Um die interne Validität (Biasrisiko im Studiendesign) und die Qualität der Studien zu bewerten, wurde das vom Office of Health Assessment and Translation (OHAT) des US-amerikanischen National Toxicology Program (NTP) veröffentlichte Protokoll (National Toxicology Program 2015a u 2015b) verwendet. Dieses wurde speziell für Studien mit einem Fokus auf Umweltgesundheit und Toxikologie entwickelt und beinhaltet eine detaillierte Anleitung, mit der beurteilt werden kann, inwieweit das Design und die Durchführung einer Studie zu einer möglichen Verzerrung (Bias) der Ergebnisse geführt haben könnten (d. h. zu einer Unter- oder Überschätzung der Expositionswirkung).

Für diesen Review wurde eine Modifikation des OHAT-Protokolls für das Kriterium »Identical Experimental Conditions Across Study Groups« vorgenommen, welches laut OHAT nur bei Tierstudien anzuwenden ist. Dieses Kriterium wurde von den Gutachtenautor/innen auch für experimentelle Humanstudien (Human Controlled Trials) als relevant betrachtet und damit im vorliegenden Review verwendet, um die experimentellen Bedingungen bei der Scheinexposition adäquat bewerten zu können. Die Scheinexposition ist bei EMF-Studien ein wichtiger Faktor für ein gut kontrolliertes Design.

Es wurden für alle experimentellen Studien (Human Controlled Trials) acht Kriterien angewendet (Tab. 5.1), anhand derer Selection Bias, Performance Bias, Attrition/Exclusion Bias, Detection Bias, Selective Reporting Bias und andere Ursachen für Bias (Other Biases) bewertet wurden (National Toxicology Program 2015a). Bei epidemiologischen Studien (Cohort Studies, Case-Control Studies, Cross-sectional Studies) wurden sieben Kriterien berücksichtigt (Tab. 5.2 u. 5.3), mit denen Selection Bias, Confounding Bias,

Attrition/Exclusion Bias, Detection Bias für die Exposition und den Endpunkt, Selective Reporting Bias und andere Ursachen für Bias (Other biases) bewertet wurden (National Toxicology Program 2015a).

Zwei Gutachtenautoren bewerteten unabhängig gemäß OHAT-Protokoll die jeweiligen Kriterien für alle eingeschlossenen Studien wie folgt: ++ = definitiv geringes Biasrisiko, + = wahrscheinlich geringes Biasrisiko, – = wahrscheinlich hohes Biasrisiko oder -- = definitiv hohes Biasrisiko. Die Ergebnisse wurden anschließend miteinander verglichen und die endgültige Bewertung durch Konsens der Gutachtenautoren festgelegt.

Die Bewertungen der einzelnen Kriterien bildeten die Grundlage für die Einteilung der Studien in eine der drei Qualitätsklassen: hohe, moderate oder geringe Studienqualität. Hierfür wurden drei Schlüsselkriterien definiert, denen ein stärkeres Gewicht bei der Beurteilung der Qualität zukam: bei experimentellen Studien (1) *confidence in the exposure*, (2) *confidence in the outcome assessment* und (3) *identical experimental conditions across study groups*; bei epidemiologischen Studien (1) *confidence in the exposure*, (2) *confidence in the outcome assessment* und (3) *confounding and modifying variables*. Den Bewertungen der restlichen Kriterien kam ein geringeres Gewicht zu. Die Studienqualität wurde nur dann als »hoch« bewertet, wenn keines der drei Schlüsselkriterien mit »wahrscheinlich hohes Biasrisiko« oder schlechter zu bewerten war (für eine detailliertere Erklärung zur Beurteilung der Studienqualität Kap. 8.2.4).

Restriktionen

Berücksichtigt wurden nur Artikel in englischer und deutscher Sprache, die zugleich grundsätzlich einem Peer-Review-Prozess unterzogen worden waren. Potenziell relevante Daten, die nicht in wissenschaftlichen Journalen veröffentlicht wurden, fanden keine Berücksichtigung. Viele Studien (n = 116), welche nach erster Vorauswahl als potenziell relevant eingestuft wurden, konnten nicht in den Review aufgenommen werden; Hauptgründe dafür waren: 1. Die Untersuchung von Altersgruppen, welche auch Personen enthielten, die das definierte Maximalalter von Kindern und Jugendlichen (18 Jahre) überschritten bzw. das Minimalalter der älteren Menschen (65 Jahre) unterschritten. 2. Die Untersuchung anderer HF-Expositionsquellen als die der Mobilkommunikation (z.B. TV- und Radiosender; therapeutische Geräte). 3. Keine Bestimmung der individuellen HF-EMF-Exposition, sondern nur Vergleich von unterschiedlichen Personengruppen als Kollektive oder Trendstudien zur Krebsinzidenz. Alle solche Studien könnten aber möglicherweise zusätzliche Hinweise auf die Wirkung von HF-EMF bzw. Mobilfunk auf Kinder und Jugendliche bzw. ältere Menschen liefern. Ähnliches gilt für Tierstudien und In vitro-Studien.

5.1 Ergebnisse

Berücksichtigte Studien

Die systematische Suche im EMF-Portal erbrachte in einem ersten Schritt 1.286 potenziell relevante Artikel zu den Wirkungen elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf die Gesundheit von Kindern, Jugendlichen und älteren Menschen. Nach Durchsicht der Titel und Abstracts wurden 1.121 Artikel aus verschiedenen Gründen ausgeschlossen (z.B. keine experimentelle oder epidemiologische Studie, Reviews; s. Methodik/Studienauswahl). Sodann wurden die Volltexte der verbliebenen 165 Artikel geprüft. Von diesen wurden 116 weitere Artikel aus folgenden Gründen ausgeschlossen (Methodik/Restriktionen): die exponierten oder ausgewerteten Altersgruppen waren nicht relevant ($n = 68$), die Exposition war nicht relevant oder unklar ($n = 25$), es fand keine individuelle Expositionsbestimmung statt ($n = 11$), die Studien untersuchten den Schwangerschaftsverlauf ($n = 7$), das Studiendesign entsprach nicht den Einschlusskriterien ($n = 4$) oder es gab keine Kontrollgruppe bzw. -bedingung ($n = 1$).

Insgesamt 49 Studien erfüllten alle Einschlusskriterien und wurden in den Review aufgenommen. Davon waren 36 epidemiologische Studien zu Kindern und Jugendlichen (Endpunkte: gesundheitliche Beschwerden, kognitive Fähigkeiten, Verhalten, frühkindliche Entwicklung und sonstige Endpunkte). In 12 experimentellen Studien wurden ebenfalls Kinder und Jugendliche untersucht (Hirnaktivität und kognitive Funktionen, physiologische Parameter). Eine epidemiologische Studie untersuchte die Wirkung auf ältere Menschen (Krebs). Es wurden keine experimentellen Studien zu älteren Menschen identifiziert.

5.1.1 Wirkungen auf Kinder in experimentellen Studien

Insgesamt 12 experimentelle Studien befassen sich mit der Wirkung von HF-EMF des Mobilfunks auf Kinder und Jugendliche. Größtenteils wurde die Wirkung auf die Hirnaktivität und kognitive Funktionen untersucht (neun Studien), drei Studien untersuchten verschiedene allgemeine physiologische Parameter (z.B. Herz- und Atemfrequenz). Von diesen Studien waren sechs (50%) von hoher, fünf (42%) von moderater und eine Studie (8%) von geringer Qualität (Abb. 5.1).

Methodische Schwächen wurden insbesondere bezüglich des Kriteriums »All measured outcomes reported« (Vollständigkeit und Dokumentation der Daten) identifiziert. Insgesamt 67 % aller experimentellen Studien wurden hier mit einem definitiv hohen Biasrisiko bewertet, da die Ergebnisse nicht vollständig oder ausreichend detailliert präsentiert wurden.

5 Mögliche Risiken durch HF-EMF speziell bei Kindern und älteren Menschen

Abb. 5.1 Biasrisikobewertung für experimentelle Studien (n = 12)



Die Kriterienbewertungen sind Grundlage für die Zuordnung der Studien zu den Qualitätskategorien hoch, moderat, gering (Kap. 8.2.3). Die Schlüsselkriterien sind gefettet bzw. umrandet. Summe (Σ [%]) stellt die Verteilung der 4 Biasrisikokategorien separat für jedes einzelne Kriterium über alle Studien hinweg in prozentualen Balkenanteilen dar.

Quelle: femu 2019, S. 15

Beispielsweise wurden in vielen Fällen nur die Mittelwerte von Messergebnissen aller Teilnehmenden gezeigt, ohne die individuellen Ergebnisse aufzuführen. Weitere Schwächen wurden zudem bei den Kriterien »Confidence in the outcome assessment« (Qualität der Auswertung der Ergebnisse) und »Attrition/exclusion rate« (Anzahl und Charakterisierung ausgeschlossener Versuchsteilnehmer) gefunden. Beim Kriterium »Confidence in the outcome assessment« wurden fünf Studien (42 %) mit einem wahrscheinlich hohen Risiko für Bias bewertet, da nicht klar war, ob die Auswertung verblindet erfolgte oder weil Angaben zur Durchführung der Auswertung fehlten. Bei »Attrition/exclusion rate« wurde für vier Studien (33 %) ein wahrscheinlich hohes Risiko für Bias ermittelt, da keine Angaben zu Verlusten und Ausschlüssen von Teilnehmenden gemacht wurden und sich aus den Ergebnissen auch nicht ermitteln ließ, ob und welche Daten

einzelner Teilnehmer erhoben wurden (»All measured outcomes reported«). Alle anderen Kriterien wurden überwiegend (zu mindestens 83 %) mit einem wahrscheinlich oder definitiv geringen Risiko für Bias bewertet.

5.1.1.2 Hirnaktivität (EEG) und kognitive Funktionen

Neun Studien untersuchten die Wirkungen von EMF des Mobilfunks (894–2.140 MHz) auf die Hirnaktivität (EEG) und kognitive Funktionen bei Kindern und Jugendlichen (15 bis 50 Probanden beiderlei Geschlechts von 7 bis 16 Jahren). Acht Studien untersuchten eine Exposition durch körpernah genutzte Endgeräte, eine Studie Fernfeld-Bedingungen (Mobilfunk-Basisstation; Riddervold et al. 2008) (Tab. 8.7 im Anhang Kap. 8.2.2).

Drei Studien (Croft et al. 2010; Krause et al. 2006; Kwon et al. 2010) untersuchten die Hirnaktivität (EEG) im Ruhezustand oder während einer kognitiven Aufgabe, vier Studien (Haarala et al. 2005; Movvahedi et al. 2014; Preece et al. 2005; Riddervold et al. 2008) untersuchten die Wirkungen auf kognitive Funktionen, wie Aufmerksamkeit, Gedächtnis und Reaktionszeit. Zwei weitere Studien (Leung et al. 2011; Loughran et al. 2013) untersuchten sowohl die Hirnaktivität als auch kognitive Funktionen. Riddervold et al. (2008) nahmen zusätzlich subjektive Symptome wie Schwindel und Übelkeit auf.

Von diesen neun Studien fanden drei Studien eine Wirkung der Mobilfunkexposition. Krause et al. (2006) fanden eine Wirkung einer Exposition bei einem Global-System-for-Mobile-Communications-(GSM-⁷³)Mobiltelefon auf Hirnwellen in den EEG-Frequenzen 4 bis 8 Hz und ca. 15 Hz während einer Erinnerungsaufgabe. Die Studie war von moderater Qualität und die Autoren erklärten, dass die Ergebnisse keine Aussagen über mögliche gesundheitliche Folgen oder Wirkungen auf die Kognition erlauben. Movvahedi et al. (2014) berichteten von einer signifikanten Verbesserung des Kurzzeitgedächtnisses durch eine Exposition bei einem GSM-900 MHz-Mobiltelefon; allerdings ist die Signifikanz dieses Ergebnisses nicht nachvollziehbar und die Studie von geringer Qualität. Leung et al. (2011) hingegen fanden in ihrer Studie von hoher Qualität Hinweise darauf, dass die Exposition bei Mobiltelefonen (besonders bei 3G) das Arbeitsgedächtnis und die Gehirnfunktion bei Jugendlichen beeinträchtigen könnte.

Alle anderen Studien konnten keine Wirkungen auf die Hirnaktivität oder kognitiven Funktionen finden.

5.1.1.3 Physiologische Parameter

Drei Studien untersuchten die Wirkungen von EMF des Mobilfunks (835 bis 1.950 MHz) auf verschiedene physiologische Parameter, wie z.B. Herz- und

⁷³ Der GSM-Funkstandard arbeitet bei Frequenzen um 900 MHz (GSM 900) bzw. 1800 MHz (GSM 1800) und wird oft auch als 2G bezeichnet.

Atemfrequenz, bei Jugendlichen (zwischen 21 und 26 Probanden von 13 bis 18 Jahren) (Kap. 8.2.3).

Choi et al. (2014) und Lindholm et al. (2011) fanden in ihren Studien von hoher Qualität keine Wirkungen einer Exposition mit GSM bei 902 MHz bzw. UMTS (Wideband Code Division Multiple Access – WCDMA⁷⁴) bei 1.950 MHz auf physiologische Veränderungen wie Herz- und Atemfrequenz oder Blutfluss-Reaktionen, EKG und Blutdruck. Nam et al. (2006) hingegen fanden einen signifikant verringerten Hautwiderstand während der Exposition bei einem UMTS-Mobiltelefon (Code Division Multiple Access – CDMA⁷⁵) bei 835 MHz, welcher 10 min nach Beendigung der Exposition wieder beim Ausgangswert lag. Die Studienqualität war moderat. Die Autoren werteten das Ergebnis als Hinweis darauf, dass die Mobilfunkexposition das autonome Nervensystem der Jugendlichen stimuliert und hierdurch zu vermehrter Schweißsekretion geführt haben könnte. Andererseits wurden keine der weiteren untersuchten Parameter (z. B. Herz- oder Atemfrequenz) durch die Exposition verändert. Die Autoren schlugen Replikationsstudien vor.

5.1.2 Wirkungen auf Kinder in epidemiologischen Studien

36 epidemiologische Studien zu Kindern und Jugendlichen im Alter von 0 bis 18 Jahren befassen sich mit den gesundheitlichen Folgen durch Mobilfunkexposition. 12 Studien (33,3 %) waren von hoher, 22 Studien (61,1 %) von moderater und zwei Studien (5,6 %) von geringer Qualität (Abb. 5.2). Methodische Schwächen wurden insbesondere bezüglich des Kriteriums »Confidence in the exposure« (Qualität der Expositionsbestimmung) identifiziert. Insgesamt 23 Studien (63,9 %) aller epidemiologischen Studien wurden hier mit einem wahrscheinlich oder definitiv hohen Biasrisiko bewertet, da die Exposition mithilfe eines Fragebogens erhoben wurde, der entweder von den Kindern und Jugendlichen selbst oder von einem Elternteil ausgefüllt wurde. Wenn der Fragebogen zur Mobiltelefonnutzung darüber hinaus retrospektiv ausgefüllt wurde, führte dies zu einer Bewertung als definitiv hohes Biasrisiko. Alle anderen Risk-of-Bias-Kriterien wurden in mehr als 91 % aller Studien mit einem definitiv geringen oder wahrscheinlich geringen Biasrisiko bewertet. Dies erfolgte insbesondere deshalb, weil die meisten epidemiologischen Studien auf Kohortenstudien beruhten, bei denen über einen längeren Zeitraum qualitativ gute Daten erhoben werden konnten.

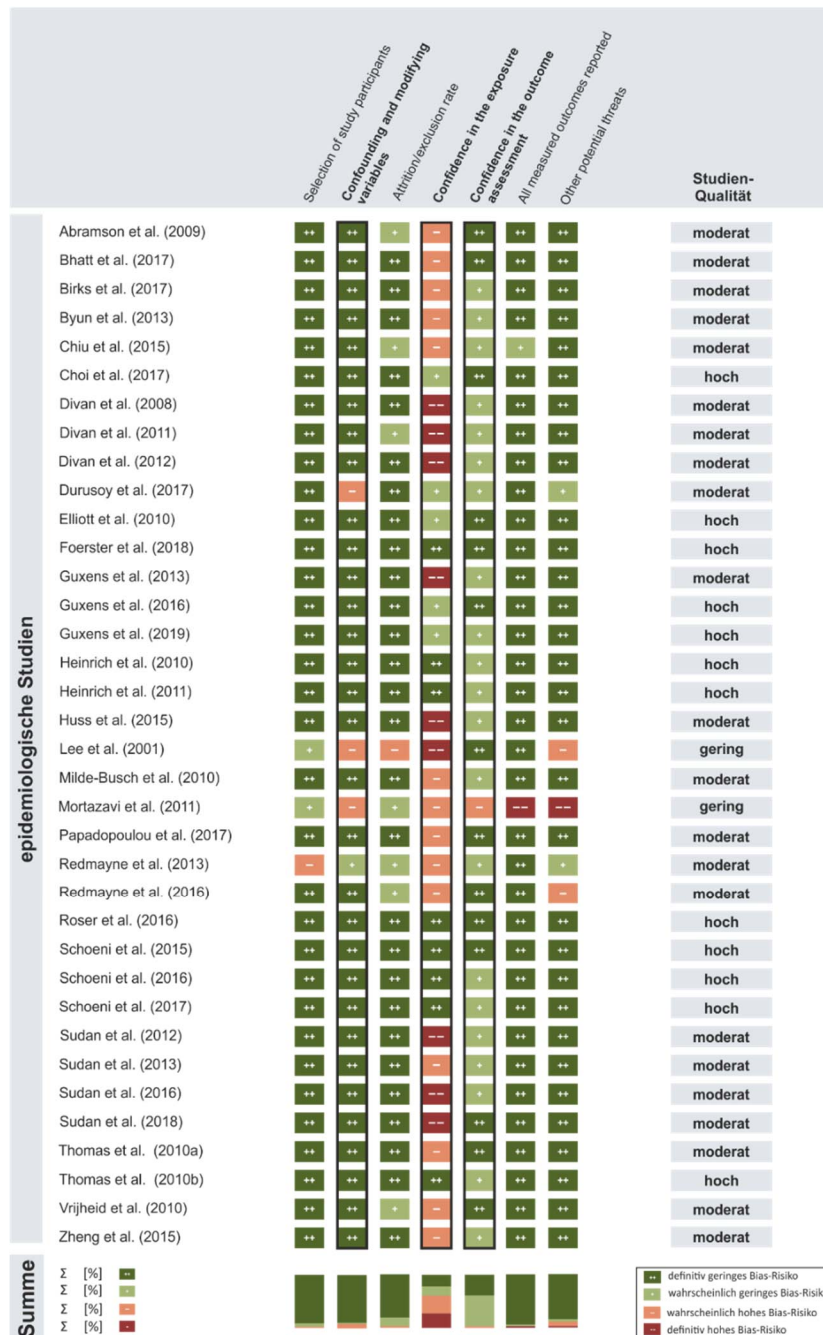
74 WCDMA ist ein spezifisches Datenübertragungsverfahren, das u. a. bei UMTS verwendet wird.

75 CDMA ist ebenfalls ein Übertragungsverfahren, das u. a. bei UMTS Verwendung findet.

5.1 Ergebnisse



Abb. 5.2 Biasrisikobewertung für epidemiologische Studien zu Kindern und Jugendlichen (n = 36)



Die Kriterienbewertungen dienen der Studieneinordnung zu den Kategorien hoch, moderat und gering (Kap. 8.2.4). Schlüsselkriterien sind gefettet bzw. umrandet. Summe (Σ [%]) stellt die Verteilung der vier Biasrisikokategorien für jedes einzelne Kriterium über alle Studien hinweg in prozentualen Balkenanteilen dar.

Quelle: femu 2019, S. 17

5 Mögliche Risiken durch HF-EMF speziell bei Kindern und älteren Menschen

Die Studien basierten auf Kohorten und Studienpopulationen aus 14 verschiedenen Ländern, wobei die meisten Studien der dänischen DNBC-Kohorte zuzuordnen sind ($n = 8$). Jeweils fünf Studien beruhen auf der Schweizer HERMES-Kohorte bzw. der niederländischen ABCD-Kohorte. Vier Publikationen stammen aus der deutschen MobilEe-Studie. Weitere Publikationen beruhen auf der spanischen INMA-Kohorte ($n = 3$), der koreanischen MOCEH-Kohorte ($n = 3$), der australischen MoRPhEUS-Kohorte ($n = 2$), der australischen ExPOSURE-Kohorte ($n = 2$) und der norwegischen MoBa-Kohorte ($n = 2$). Eine Publikation stammt aus der koreanischen CHEER-Studie. In weiteren sieben epidemiologischen Studien wurden in China, Großbritannien, Iran, Neuseeland, Taiwan und Türkei Studienpopulationen ohne besondere Benennung untersucht. In zwei multinationalen Studien (Sudan et al. 2018; Birks et al. 2017) wurden drei bzw. fünf verschiedene Kohorten berücksichtigt. Die meisten Publikationen stammen aus europäischen Ländern, während keine Studie aus USA, Kanada, Süd- und Mittelamerika und Afrika identifiziert werden konnte.

Die häufigsten Studienarten waren Kohortenstudien ($n = 20$), die mithilfe von Längsschnitt- und teilweise Querschnittsanalysen ausgewertet wurden, sowie Querschnittsstudien ($n = 15$), die mithilfe von Querschnittsanalysen ausgewertet wurden. Es lag nur eine Fallkontrollstudie (Elliott et al. 2010) vor. In einer Querschnittsanalyse werden die Exposition und der Endpunkt zum selben Zeitpunkt erhoben. In einer Längsschnittanalyse wird der Endpunkt mit einem zeitlichen Abstand, nachdem eine Exposition stattgefunden hat, bestimmt. Dabei kann die Exposition entweder zu Studienbeginn (prospektiv) oder retrospektiv zum Zeitpunkt der Endpunkterhebung erfasst werden. Als Studienpopulation wurde in vielen Publikationen eine Geburtskohorte zugrunde gelegt, um unterschiedliche Endpunkte zu einem Zeitpunkt oder einen Endpunkt zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu untersuchen. Der Vorteil einer solchen Kohorte ist, dass umfangreiche und qualitativ hochwertige Daten (z. B. soziodemografische Angaben zu den Eltern, medizinische Vorgeschichte, andere Expositionen) und biologisches Material (z. B. Blutprobe) zu unterschiedlichen Zeitpunkten (Follow-ups) erhoben werden können. Es wurden außerdem einige Projekte (z. B. HERMES und ExPOSURE) speziell zu den Wirkungen der Mobilfunkexposition durchgeführt, in denen unterschiedliche Fragestellungen in derselben Studienpopulation untersucht und publiziert wurden.

Als Expositionsquelle wurde in fast allen Studien ($n = 22$) die Mobiltelefonnutzung untersucht. In jeweils 12 Studien wurden zusätzlich auch die Nutzung von Schnurlostelefonen (z. B. DECT) und die Exposition bei Mobilfunkbasisstationen berücksichtigt. In zwei Studien wurde ausschließlich die Exposition bei Mobilfunkbasisstationen bzw. zusammen mit Fernseh- und Rundfunksendern untersucht. Zur Expositionsabschätzung wurden unterschiedliche Methoden (Fragebogen, Messungen oder Berechnungen) eingesetzt. In fast allen Publikationen ($n = 30$) wurde ein Fragebogen verwendet, den entweder das Kind bzw. der

Jugendliche oder ein Elternteil ausfüllten. In 15 Studien erfolgte die Expositionsbestimmung durch Messungen und/oder Berechnung der HF-EMF, davon in acht Studien mithilfe eines Personendosimeters, welches während des Messtages am Körper getragen wurde.

Da in einigen Publikationen mehrere Methoden angewendet wurden, ist die Summe der Anzahl der o.a. Publikationen zu den einzelnen Methoden größer als die Gesamtzahl der tatsächlichen Publikationen.

Die 36 Studien wurden in die Themengebiete gesundheitliche Beschwerden ($n = 12$), kognitive Fähigkeiten ($n = 10$), Verhalten ($n = 9$), frühkindliche Entwicklung ($n = 4$) und sonstige Endpunkte ($n = 2$) unterteilt. Eine Publikation (Roser et al. 2016) untersuchte sowohl kognitive Fähigkeiten als auch das Verhalten. Sie wurde bei beiden Endpunkten separat aufgeführt.

5.1.2.2 Gesundheitliche Beschwerden

Es wurden insgesamt 12 Publikationen zu gesundheitlichen Beschwerden bei Kindern und Jugendlichen und der Exposition bei Mobilfunk identifiziert (Kap. 8.2.1). Davon stammen drei Publikationen aus der deutschen MobilEe-Studie, zwei aus der Schweizer HERMES-Studie sowie jeweils eine Publikation aus der dänischen DNBC-Kohorte und der niederländischen ABCD-Studie. Des Weiteren wurde jeweils eine Studie aus dem Iran, aus Neuseeland, Taiwan, China und aus der Türkei publiziert.

Als gesundheitliche Beschwerden wurden überwiegend Kopfschmerzen einschließlich Migräne ($n = 11$) untersucht, gefolgt von Müdigkeit ($n = 7$), Schlafproblemen ($n = 7$) und Schwindel ($n = 5$). In allen Studien wurden die Beschwerden von den Kindern und Jugendlichen selbst oder von ihren Eltern angegeben und nicht durch ärztliche Diagnosen verifiziert. Die am häufigsten betrachtete Exposition war die Nutzung des Mobiltelefons ($n = 11$) der Kinder und Jugendlichen. In einer Publikation wurde zusätzlich auch die Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft erhoben. In sechs Publikationen wurde die häusliche Exposition bei Mobilfunkbasisstationen bestimmt. Die Exposition wurde am häufigsten mithilfe von Fragebögen ($n = 11$) erhoben, in sechs Studien wurden Messungen und Berechnungen durchgeführt und in fünf Studien beide Methoden angewendet.

Die Studien im Überblick

In der deutschen MobilEe-Studie wurde die HF-EMF-Exposition durch 24-stündige Messungen mithilfe eines Personendosimeters bestimmt, wobei in zwei Querschnittsanalysen akute gesundheitliche Beschwerden (Heinrich et al. 2010) und chronische Symptome der vergangenen 6 Monate (Heinrich et al. 2011) bei insgesamt 3.022 Kindern und Jugendlichen untersucht wurden. Bei den akuten

^
> 5 Mögliche Risiken durch HF-EMF speziell bei Kindern und älteren Menschen
v

Symptomen innerhalb des 24-stündigen Messzeitraums fanden Heinrich et al. (2010) vereinzelte, statistisch signifikante Ergebnisse. Die Autoren halten die beobachteten Zusammenhänge jedoch für nicht kausal, sondern für eher zufällig auftretend. Für chronische Symptome in derselben Studienpopulation (Heinrich et al. 2011) wurden ebenfalls nur vereinzelt statistisch signifikante Ergebnisse gefunden, darunter auch eine Verbesserung der Schlafprobleme in der zweithöchsten Expositionsgruppe. Die Autoren folgerten, dass es keinen Zusammenhang zwischen chronischen Symptomen und der HF-EMF-Exposition gab. In der dritten deutschen Querschnittsstudie (Milde-Busch et al. 2010) wurde eine Untergruppe aus der MobilEe-Studie von 1.025 Jugendlichen, die berichtet hatten, mindestens einmal im Monat Kopfschmerzen zu haben, im Detail untersucht. Die Jugendlichen machten in einem Fragebogen Angaben zur Art der Kopfschmerzen sowie zur Nutzung verschiedener elektronischer Medien und Geräte (z. B. Mobiltelefon, Computer, Fernsehen, Spielkonsolen, Musikhören). Es wurde kein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Kopfschmerzen einschließlich Migräne und der Mobiltelefonnutzung gefunden. Insgesamt wurde in den drei Publikationen aus der MobilEe-Studie mit moderater und hoher Studienqualität kein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen der Mobiltelefonnutzung und akuten sowie chronischen gesundheitlichen Beschwerden gefunden.

In den beiden Publikationen aus der Schweizer HERMES-Kohortenstudie wurden Kopfschmerzen und andere gesundheitliche Beschwerden bei 425 Jugendlichen zu zwei Zeitpunkten im Abstand von einem Jahr in Bezug auf zwei unterschiedliche Expositionen untersucht: häusliche und schulische Exposition bei festinstallierten Antennen, z. B. Mobilfunkbasisstation, Fernseh- und Rundfunkantennen (Schoeni et al. 2016), sowie die Mobil- und Schnurlostelefonnutzung (Schoeni et al. 2017). Für die berechnete Exposition bei festinstallierten Antennen fanden Schoeni et al. (2016) wenige statistisch signifikante Ergebnisse. Neben häufig angegebener Müdigkeit wurde eine Verbesserung der Konzentration aufgezeigt. Jedoch waren die Zusammenhänge nicht konsistent und könnten den Autoren zufolge auf Zufall beruhen. Auch zur Mobiltelefonnutzung beobachteten Schoeni et al. (2017) einige statistisch signifikante Ergebnisse. Diese wurden jedoch hauptsächlich für Nutzungsparameter gefunden, die nur wenig mit der HF-EMF-Exposition in Verbindung stehen, beispielsweise der Anzahl an täglich gesendeten Textnachrichten. Laut Autoren deuteten die Ergebnisse darauf hin, dass andere Aspekte der starken elektronischen Mediennutzung und nicht die HF-EMF-Exposition mit den beobachteten Symptomen zusammenhängen. Auch könnten die wenigen signifikanten Ergebnisse der insgesamt 168 Analysen auf Zufall beruhen. Beide Studien wurden einer hohen Studienqualität zugeordnet.

In der iranischen Querschnittsstudie (Mortazavi et al. 2011) mit 452 Kindern und Jugendlichen im Alter von 6 bis 16 Jahren wurden bei längerer Nutzungsdauer eines Mobiltelefons Beschwerden (z. B. Kopfschmerzen, Muskelschmerzen, Herzerkrankungen, Müdigkeit, Konzentrationsprobleme, Nervosität) gefunden. Die



Aussagekraft der Studie ist laut Autoren eingeschränkt, da die Symptome von den Schülern selbst angegeben wurden und ihr mangelndes Wissen über die genaue Definition der Symptome aufgrund ihres Alters ihre Angaben beeinflusst haben könnte. In dieser Studie war aufgrund der unvollständigen Angaben bei der Endpunkt-Erhebung und den Ergebnissen, der Expositionsbestimmung mittels Fragebogen sowie der Nichtberücksichtigung von Confoundern (Störfaktoren) in der Auswertung ein hohes Risiko für Bias gegeben und somit die Studienqualität gering.

In der dänischen DNBC-Kohorte untersuchten Sudan et al. (2012) mehr als 52.000 Mutter-Kind-Paare zu gesundheitlichen Beschwerden bei 7-jährigen Kindern im Zusammenhang mit der Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft (pränatal) und des 7-jährigen Kindes (postnatal). Es wurden statistisch signifikante Ergebnisse für Migräne bei pränataler und postnataler Exposition sowie für Begleitsymptome von Kopfschmerzen bei pränataler und/oder postnataler Exposition beobachtet. Die Autoren merkten jedoch zugleich an, dass der Zusammenhang aufgrund von möglichen nicht berücksichtigten Confoundern (z. B. Fernsehen, Computernutzung und Videospiele) und möglicher Fehlklassifizierung der Exposition nicht kausal sein könnte. Die Studienqualität wurde wegen der Expositionsbestimmung mithilfe eines Fragebogens als moderat bewertet.

Redmayne et al. (2013) untersuchten 373 neuseeländische Kinder im Alter von 10 bis 13 Jahren zum Auftreten von verschiedenen gesundheitlichen Beschwerden im Zusammenhang mit ihrer Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen. Es wurden vermehrt Kopfschmerzen bei Kindern beobachtet, die wöchentlich mehr als 6 Mobiltelefonanrufe (Dauer: länger als 10 min) führten oder die länger als 15 min/Tag ein Schnurlostelefon nutzten. Es wurden auch weitere signifikante Ergebnisse beobachtet, die laut Autoren nicht mit den HF-EMF zusammenhängen, wie z. B. Müdigkeit in der Schule, wenn das Kind nachts von einem Mobiltelefon geweckt wurde. Welche Parameter als nicht HF-EMF relevant eingestuft wurden, wurde von den Autoren nicht klar definiert. Die Autoren schlussfolgerten, dass mehr statistisch signifikante Ergebnisse (36%) beobachtet wurden als durch Zufall (5%) zu erwarten gewesen wären. Allerdings könnten einige Zusammenhänge nicht auf der HF-EMF-Exposition beruhen. Die Studienqualität wurde wegen der unvollständigen Beschreibung der Studienpopulation und der Expositionserhebung mithilfe eines Fragebogens als moderat eingestuft.

In einer in Taiwan durchgeführten Querschnittsstudie (Chiu et al. 2015) wurden 2.042 Kinder im Alter von 11 bis 15 Jahren zu ihrer Mobiltelefonnutzung und dem Auftreten von verschiedenen gesundheitlichen Beschwerden untersucht. Bei Kindern, die ein Mobiltelefon nutzten, traten statistisch signifikant häufiger Kopfschmerzen und Migräne sowie Hautreizungen auf. Des Weiteren gaben die Eltern an, dass diese Kinder einen schlechteren Gesundheitszustand als ein Jahr zuvor hatten. Obwohl auch in dieser Querschnittsstudie aufgrund des Studien-

^
> 5 Mögliche Risiken durch HF-EMF speziell bei Kindern und älteren Menschen
v

designs keine Kausalität untersucht werden konnte, rieten die Autoren aufgrund der Ergebnisse zu einer erhöhten Vorsicht bei der Mobiltelefonnutzung von Kindern. Die Studienqualität wurde wegen der Expositionsabschätzung mithilfe eines Fragebogens als moderat eingestuft.

In der niederländischen ABCD-Kohortenstudie (Huss et al. 2015) mit 2.361 Kindern im Alter von 5 bis 7 Jahren wurden verschiedene Parameter von Schlafproblemen im Zusammenhang mit der häuslichen Exposition bei Basisstationen (Mobilfunk und Schnurlostelefon) und der Mobil- und Schnurlostelefonnutzung untersucht. Es wurden einige statistisch signifikante Ergebnisse zu Schlafproblemen bei 7-jährigen Kindern gefunden. Aufgrund der inkonsistenten Ergebnisse in den verschiedenen Expositionsgruppen und des beobachteten Zusammenhangs zwischen der Mobiltelefonnutzung und den Kontrollschlafparametern (z. B. Verweigerung des Zubettgehens) schlussfolgerten die Autoren jedoch, dass die Schlafqualität bei den Kindern nicht unbedingt durch die HF-EMF-Exposition beeinflusst wurde, sondern möglicherweise durch andere Faktoren, die mit der Mobiltelefonnutzung als solche in Verbindung stehen. Aufgrund der Expositionsabschätzung mithilfe eines Fragebogens wurde die Studienqualität als moderat bewertet.

In einer in China durchgeführten Querschnittsstudie (Zheng et al. 2015) wurde das Auftreten von verschiedenen gesundheitlichen Beschwerden im Zusammenhang mit der Mobiltelefonnutzung bei 746 Kindern im Alter von 9 bis 12 Jahren untersucht. Es wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang für Müdigkeit bei einer Nutzungsdauer von länger als einem Jahr beobachtet. Die Autoren folgerten, dass ein Zusammenhang zwischen Müdigkeit und der Nutzung eines Mobiltelefons bestand. Die Studienqualität wurde wegen der Expositionsabschätzung mithilfe eines Fragebogens als moderat eingestuft.

In einer in der Türkei durchgeführten Querschnittsstudie (Durusoy et al. 2017) wurden bei 2.150 Jugendlichen im Alter von ca. 15 Jahren sowohl allgemeine Symptome in den letzten vier Wochen als auch akute Symptome bei Mobiltelefonnutzung und der HF-EMF-Exposition in der Schule untersucht. Bei Jugendlichen, die ein Mobiltelefon nutzten, wurde ein erhöhtes Risiko für Kopfschmerzen, Müdigkeit und Schlafstörungen beobachtet. Laut Autoren seien viele statistisch signifikante Ergebnisse nicht allein aus Zufallsgründen zu erwarten gewesen. Wegen nicht ausreichender Berücksichtigung der erhobenen Confounder in der Analyse und der Expositionsbestimmung mithilfe eines Fragebogens wurde die Studienqualität als moderat eingestuft.

Gesamteinschätzung

Insgesamt sind die Ergebnisse der 12 epidemiologischen Studien zu gesundheitlichen Beschwerden (z. B. Kopfschmerzen und Müdigkeit) inkonsistent. In sieben Studien (Heinrich et al. 2010, 2011; Huss et al. 2015; Redmayne et al. 2013; Schoeni et al. 2016; Schoeni et al. 2017; Sudan et al. 2012) von hoher und moderater Studienqualität wurden einzelne statistisch signifikante Ergebnisse gefunden, die jedoch in ihrer Aussagekraft von den Autoren eingeschränkt wurden, da die Ergebnisse auf unkontrolliertem Confounding oder Zufall beruhen könnten, sodass die Kausalität der beobachteten Zusammenhänge nicht klar ist. Auch könnte eine reverse Kausalität vorliegen, d. h. die Kinder könnten häufiger mit dem Mobiltelefon anrufen, weil sie Kopfschmerzen haben. In vier Publikationen (Chiu et al. 2015; Durusoy et al. 2017; Mortazavi et al. 2011; Zheng et al. 2015) von moderater und geringer Studienqualität berichteten die Autoren von einem Zusammenhang zwischen der Exposition bei Mobilfunk und unterschiedlichen gesundheitlichen Beschwerden. In einer Publikation (Milde-Busch et al. 2010) von moderater Studienqualität wurden keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Kopfschmerzen und EMF der Mobilfunkkommunikation gefunden.

5.1.2.3 Kognitive Fähigkeiten

Es wurden insgesamt zehn Publikationen zu möglichen Wirkungen von Mobilfunkexposition auf die kognitiven Fähigkeiten von Kindern und Jugendlichen analysiert (Kap. 8.5.1): Eine multinationale Analyse wurde im Rahmen des GERoNiMO-Projekts mit den DNBC-, INMA- und MOCEH-Kohorten durchgeführt, vier Publikationen stammen aus den MoRPhEUS- und ExPOSURE-Studien in Australien, drei aus der HERMES-Studie in der Schweiz, eine aus der niederländischen ABCD-Kohorte, eine Studie wurde in China durchgeführt. Als Exposition wurde in allen Publikationen die Mobiltelefonnutzung und zusätzlich in sechs Publikationen die Schnurlostelefonnutzung untersucht, über deren Häufigkeit die Kinder und Jugendlichen selbst oder ein Elternteil Angaben in einem Fragebogen machten. In drei Publikationen wurden die Angaben der Jugendlichen durch Betreiberdaten ergänzt. Als zusätzliche Exposition wurde in vier Artikeln die Exposition bei Mobilfunkbasisstationen untersucht, die durch Messungen und Berechnungen bestimmt wurde.

Die untersuchten kognitiven Fähigkeiten umfassten z. B. Lernen, Gedächtnis, Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. In allen Studien führte Fachpersonal verschiedene validierte Testreihen (z. B. Stroop-Test: misst, wie gut ein Mensch störende, unwichtige Reize ausblenden kann; CogHealth-Testreihe: als Beispiel für Intelligenztests) mit den Kindern und Jugendlichen durch, sodass die Qualität der Endpunktbestimmung insgesamt gut war.

Die Studien im Überblick

In einer gemeinsamen Analyse der drei Geburtskohorten DNBC, INMA und MOCEH (Sudan et al. 2018) wurde bei 3.089 Mutter-Kind-Paaren die Wirkung der Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft auf die kognitiven Fähigkeiten bei ihren 5-jährigen Kindern untersucht. Es wurde eine Tendenz zu schwächeren kognitiven Fähigkeiten bei Kindern beobachtet, deren Mütter vermehrt mit einem Mobiltelefon in der Schwangerschaft telefoniert hatten, die Ergebnisse sind jedoch nicht statistisch signifikant. Die Autoren vermuteten trotz der nichtsignifikanten Ergebnisse eine Wirkung der Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft auf die kognitiven Fähigkeiten ihrer Kinder. Die Studienqualität wurde aufgrund der Expositionsbestimmung mithilfe eines Fragebogens als moderat bewertet.

In der australischen MoRPhEUS-Studie untersuchten Abramson et al. (2009) 317 Kinder und Jugendliche im Alter von 11 bis 14 Jahren zu ihren kognitiven Fähigkeiten und ihrer Mobiltelefonnutzung. Es wurde eine geringere Genauigkeit bei Aufgaben zum Arbeitsgedächtnis und assoziativem Lernen und eine kürzere Reaktionszeit bei einfachen und assoziativen Lernaufgaben (Verbesserung) bei Kindern und Jugendlichen beobachtet, die von mehr Mobiltelefonanrufen berichteten. Da die Ergebnisse bei Kindern und Jugendlichen, die mehr als 2,5 SMS pro Woche versendeten, ähnlich waren, schlussfolgerten die Autoren, dass die beobachteten Verschlechterungen und Verbesserungen in den kognitiven Fähigkeiten wahrscheinlich nicht auf der HF-EMF-Exposition beruhten, sondern z. B. auf impulsivem Verhalten. (Thomas et al. 2010a) untersuchten dieselbe Studiengruppe ein Jahr später erneut zur Mobiltelefonnutzung und zu den Veränderungen in der kognitiven Leistung im Zeitverlauf. Es wurden einige signifikante Ergebnisse mit längeren sowie kürzeren Reaktionszeiten (Verschlechterung bzw. Verbesserung) für das Arbeitsgedächtnis gefunden. Die Autoren schlussfolgerten, dass diese Ergebnisse eher mit statistischen Effekten (Regression zur Mitte; d. h., wenn eine Variable in der ersten Messung einen extremen Messwert annimmt, der Messwert bei der zweiten Messung tendenziell näher am Mittelwert liegen wird) zusammenhängen und nicht auf der Wirkung der Mobiltelefonnutzung beruhten. Die Studienqualität beider Publikationen wurde aufgrund der Expositionsbestimmung mithilfe eines Fragebogens als moderat bewertet.

In einer weiteren australischen Studie (ExPOSURE) untersuchten Redmayne et al. (2016) 619 Kinder im Alter von 8 bis 11 Jahren bezüglich ihrer kognitiven Fähigkeiten im Zusammenhang mit ihrer Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen. Statistisch signifikant waren nur fünf der insgesamt 78 Ergebnisse. Die Autoren schlussfolgerten, dass es nur sehr wenige Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Mobil- und Schnurlostelefonnutzung der Kinder und ihren kognitiven Fähigkeiten gab. Bhatt et al. (2017) führten in derselben Kohorte an 412 Kindern ein Jahr später eine Längsschnittanalyse zu möglichen Veränderungen in den kognitiven Fähigkeiten aufgrund eines veränderten Nutzungsverhalten



in Bezug auf Mobil- und Schnurlostelefonen im Zeitverlauf durch. Sie fanden insgesamt wenige signifikante Ergebnisse in beide Richtungen (Verbesserung und Verschlechterung). Die Autoren kamen ebenfalls zu dem Schluss, dass es eingeschränkte Hinweise auf eine Veränderung der kognitiven Fähigkeiten gab, die jedoch aufgrund der geringen Anzahl an wöchentlichen Mobil- und Schnurlostelefonanrufen mit Vorsicht zu interpretieren seien. Die Studienqualität beider Publikationen wurde aufgrund der Expositionsbestimmung mithilfe eines Fragebogens als moderat bewertet.

In der ersten Publikation aus der Schweizer HERMES-Studie untersuchten Schoeni et al. (2015) bei 425 Jugendlichen im Alter von 12 bis 17 Jahren das visuelle und verbale Gedächtnis in Zusammenhang mit der Exposition bei Mobil- und Schnurlostelefonen mit einer umfangreichen Expositionsbestimmung durch Fragebogen, Betreiberdaten, Messungen und Berechnungen. Es wurden einige signifikante Ergebnisse für eine verminderte visuelle Gedächtnisleistung im Zusammenhang mit der kumulativen Ganzkörper- und Gehirndosis beobachtet. Die Autoren schlussfolgerten, dass die Ergebnisse auf eine Wirkung der HF-EMF-Exposition auf die Gedächtnisleistung hinweisen könnten. In der späteren Publikation aus der HERMES-Studie erweiterten Foerster et al. (2018) die Studienpopulation auf insgesamt 843 Jugendliche. Auch hier wurden einige statistisch signifikante Ergebnisse für eine verminderte visuelle Gedächtnisleistung im Zusammenhang mit der HF-EMF-Exposition beobachtet. Dabei war die Wirkung in der Gruppe der Rechtshänder, die das Mobiltelefon vermehrt auf der Kopfseite einsetzen, in der das visuelle Gedächtnis überwiegend verortet ist, stärker ausgeprägt. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass es Hinweise gibt, dass eine HF-EMF-Exposition bestimmte Gehirnfunktionen, wie das visuelle Gedächtnis, beeinflussen könnte. Dies sei jedoch laut Autoren mit Vorsicht zu interpretieren und in anderen Studienpopulationen zu überprüfen. In einer weiteren Publikation aus der HERMES-Studie testeten Roser et al. (2016) das Konzentrationsvermögen von 425 Jugendlichen sowie auch das Verhalten. Sie fanden in der Querschnittsanalyse nur wenige und in der Längsschnittanalyse keine statistisch signifikanten Ergebnisse und schlussfolgerten, dass es keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der HF-EMF-Exposition und dem Konzentrationsvermögen bei den Jugendlichen gab. Alle drei Publikationen hatten eine hohe Studienqualität.

Lee et al. (2001) untersuchten bei 72 chinesischen Jugendlichen (16 bis 17 Jahre alt) den Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Aufmerksamkeit. In einem der drei verwendeten Tests wurde eine verbesserte Aufmerksamkeit bei den Nutzern von Mobiltelefonen beobachtet. Die Autoren schlussfolgerten, dass die HF-EMF-Exposition bei Mobiltelefonen eine geringfügig verbessernde Wirkung auf die Aufmerksamkeit haben könnte. Die Studienqualität wurde u. a. aufgrund mangelnder Berücksichtigung von Confoundern und eines unklaren Auswahlverfahrens der Jugendlichen als gering bewertet.

5 Mögliche Risiken durch HF-EMF speziell bei Kindern und älteren Menschen

Guxens et al. (2016) untersuchten bei 2.354 Kindern aus der niederländischen ABCD-Kohorte den Zusammenhang zwischen der häuslichen Exposition (Basisstationen für Mobilfunk- und Schnurlostelefon, Wi-Fi) sowie der Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefon von 5- bis 6-jährigen Kindern und ihren kognitiven Fähigkeiten. Bei unterschiedlichen Expositionsszenarien wurden sowohl verbesserte als auch verschlechterte kognitive Leistungen beobachtet, jedoch ohne eindeutige Richtung. Die Autoren schlussfolgerten aus dieser Studie mit hoher Studienqualität, dass es keine konsistenten Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der häuslichen Exposition sowie der Mobil- und Schnurlostelefonnutzung der Kinder und ihren kognitiven Fähigkeiten gab.

Gesamteinschätzung

In den Publikationen von geringer ($n = 1$) bis hoher ($n = 4$) Qualität fanden sich keine konsistenten Hinweise für die Wirkung einer Mobilfunkexposition auf die kognitiven Fähigkeiten bei Kindern und Jugendlichen. Es wurden sowohl Verschlechterungen (Bhatt et al. 2017; Foerster et al. 2018; Thomas et al. 2010a) als auch Verbesserungen (Bhatt et al. 2017; Guxens et al. 2016; Thomas et al. 2010a) bei den verschiedenen untersuchten Parametern gefunden. Einige Autoren ordneten die signifikanten Ergebnisse eher dem Studiendesign oder dem Zufall zu, sodass die Studien nur als eingeschränkt aussagekräftig anzusehen seien. Als ein Beispiel eines möglichen, jedoch nicht berücksichtigten Confounders diskutierten Foerster et al. (2018) die Pubertät, die sich sowohl auf die Gewohnheiten der Mobiltelefonnutzung als auch auf die kognitiven Fähigkeiten und das Verhalten der Jugendlichen auswirken könnte. Von Relevanz ist jedoch, dass in zwei Studien von hoher Qualität (Foerster et al. 2018; Schoeni et al. 2015) konsistente Hinweise für eine verminderte visuelle Gedächtnisleistung in Zusammenhang mit der HF-EMF-Exposition gefunden wurden.

5.1.2.4 Verhalten

Es wurden insgesamt neun Publikationen zum Themengebiet Verhalten bei Kindern und Jugendlichen mit Mobilfunkexposition identifiziert (KaS. 8.2.2). In den Untersuchungen wurden sowohl die Stärken (prosoziales Verhalten) als auch die Schwächen (z. B. emotionale Probleme, Hyperaktivität, Probleme mit Gleichaltrigen) analysiert. Als Instrument zur Einschätzung der Verhaltensauffälligkeiten und -stärken wurde in allen Studien mit Ausnahme von Byun et al. (2013) der Strengths-and-Difficulties-Questionnaire-(SDQ-)Fragebogen verwendet, wodurch eine einheitliche Erhebung der Daten erfolgte. Die Exposition wurde in sechs Studien mittels eines Fragebogens retrospektiv, in einer Studie prospektiv (Byun et al. 2013) und in der multinationalen Studie je nach Land prospektiv oder



retrospektiv (Birks et al. 2017) erhoben. Zusätzlich zu den Fragebögen zur Mobiltelefonnutzung wurde die Expositionsabschätzung in einer Studie durch Messungen und Berechnungen (Roser et al. 2016) und in einer Studie durch Berechnungen der Exposition bei Mobilfunkbasisstationen (Guxens et al. 2019) ergänzt. Thomas et al. (2010b) bestimmten die HF-EMF-Exposition individuell durch das Tragen eines Personendosimeters.

Die Studien im Überblick

In der multinationalen Analyse (Birks et al. 2017) mit mehr als 83.000 Mutter-Kind-Paaren wurde der Zusammenhang zwischen der Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft (pränatal) und Verhaltensauffälligkeiten der Kinder im Alter von 5 bis 7 Jahren untersucht. Dabei wurde ein erhöhtes Risiko für Hyperaktivität/Aufmerksamkeitsprobleme bei Kindern mit pränataler Exposition gefunden. Laut Autoren könnte dies auch ein Ergebnis von unkontrolliertem Confounding (z. B. Erziehungsstil, Hyperaktivität der Mutter) oder durch die ungenaue retrospektive Expositionsabschätzung verursacht worden sein. Die Studienqualität wurde aufgrund der Expositionsbestimmung mithilfe eines Fragebogens als moderat bewertet.

In der ersten Publikation aus der dänischen DNBC-Studie (Divan et al. 2008) mit mehr als 13.000 Mutter-Kind-Paaren wurde der Zusammenhang zwischen der Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft (pränatal) sowie die Nutzung von Mobiltelefonen durch die Kinder selbst im Alter von 7 Jahren und Verhaltensauffälligkeiten bei den 7-Jährigen untersucht. Es wurden statistisch signifikante Ergebnisse für die prä- und/oder postnatale Exposition und Verhaltensauffälligkeiten gefunden. Laut Autoren sind diese beobachteten Zusammenhänge nicht notwendigerweise kausal und könnten auch auf anderen, in dieser Studie nicht untersuchten Faktoren beruhen. Bei einer späteren Analyse (Divan et al. 2012) mit mehr als 41.000 Mutter-Kind-Paaren und mit der Kontrolle für zusätzliche Confounder (z. B. psychische Erkrankung des Vaters, kognitive Probleme und Verhaltensprobleme im Kindesalter bei beiden Elternteilen, Stillen des Kindes bis zum Alter von 6 Monaten) wurden ähnliche, jedoch etwas schwächere Zusammenhänge für die prä- und/oder postnatale Exposition beobachtet. In der dritten Publikation aus der dänischen DNBC-Studie (Sudan et al. 2016) mit mehr als 47.000 Mutter-Kind-Paaren wurden ebenfalls Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für Verhaltensauffälligkeiten bei Kindern gefunden, die pränatal und/oder postnatal exponiert waren. Am stärksten war dieser Zusammenhang bei 11-jährigen Kindern mit prä- und postnataler Exposition, die keine Auffälligkeiten im Alter von 7 Jahren gezeigt hatten. Insgesamt deuten die Ergebnisse der drei Publikationen aus der DNBC-Kohorte auf einen möglichen Zusammenhang zwischen prä- und postnataler Exposition bei Mobiltelefonen und Verhaltensauffälligkeiten bei Kindern hin. Die Aussagekraft dieser Studien ist durch die retrospektive Abschätzung der

5 Mögliche Risiken durch HF-EMF speziell bei Kindern und älteren Menschen

Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft, die erst 7 Jahre später mithilfe eines Fragebogens erfolgte, allerdings eingeschränkt. Die Studienqualität wurde deswegen als moderat bewertet.

In der ersten Publikation aus der niederländischen ABCD-Kohorte (Guxens et al. 2013) mit mehr als 2.600 Mutter-Kind-Paaren wurde der Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen der Mutter während der Schwangerschaft (pränatal) und Verhaltensauffälligkeiten bei ihrem 5-jährigen Kind untersucht. In der zweiten Publikation (Guxens et al. 2019) wurde bei mehr als 3.100 Mutter-Kind-Paaren zusätzlich die Mobiltelefonnutzung des 5-jährigen Kindes (postnatal) sowie die häusliche Exposition bei Mobilfunkbasisstationen untersucht. Die Autoren schlussfolgerten in beiden Studien, dass keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Mobil- und Schnurlostelefonnutzung und Verhaltensauffälligkeiten gefunden wurden. Die beiden Studien sind aufgrund der unterschiedlichen Methoden zur Expositionsbestimmung von moderater (Guxens et al. 2013) bzw. hoher Studienqualität (Guxens et al. 2019).

In der deutschen MobilEe-Studie (Thomas et al. 2010b) wurde der Zusammenhang zwischen der HF-EMF-Exposition und Verhaltensauffälligkeiten bei mehr als 3.000 Kindern und Jugendlichen im Alter von 8 bis 17 Jahren untersucht. Es zeigte sich ein erhöhtes Risiko für Verhaltensauffälligkeiten in der Gruppe der Kinder und Jugendlichen mit der höchsten HF-EMF-Exposition. Die Autoren folgerten, dass es Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der HF-EMF-Exposition und Verhaltensauffälligkeiten gab. Sie wiesen jedoch zugleich darauf hin, dass Confounder, wie z. B. die Hyperaktivität der Mutter, nicht berücksichtigt wurden. Die Studienqualität wurde als hoch eingestuft.

In der koreanischen Studie von Byun et al. (2013) wurde bei mehr als 2.400 Kindern der Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeits-Defizit-Hyperaktivitäts-Störung (ADHS) und der Mobiltelefonnutzung sowie dem Bleigehalt im Blut als bekannter Risikofaktor für ADHS untersucht. Es wurde nur bei Kindern mit einem hohen Bleigehalt im Blut ein erhöhtes Risiko für ADHS bei Mobiltelefonnutzung beobachtet. Die Autoren dieser Studie von moderater Studienqualität folgerten, dass der beobachtete Zusammenhang auf eine mögliche Wechselwirkung zwischen den beiden Expositionen Blei und Mobiltelefonnutzung hindeuten könnte. Eine ähnliche Wechselwirkung zwischen dem Bleigehalt im Blut der Mutter während der Schwangerschaft und der Mobiltelefonnutzung wurde auch von Choi et al. (2017) im Zusammenhang mit der verzögerten psychomotorischen Entwicklung von Kleinkindern gefunden. Die Studienqualität von Byun et al. (2013) wurde aufgrund der Expositionsbestimmung mithilfe eines Fragebogens als moderat bewertet.

Roser et al. (2016) untersuchten bei 425 Jugendlichen aus der Schweizer HERMES-Studie den Zusammenhang zwischen Verhaltensauffälligkeiten und der Mobil- und Schnurlostelefonnutzung sowie weiteren Expositionsvariablen. In der Querschnittsanalyse wurden einige statistisch signifikante Ergebnisse für

mehr Verhaltensauffälligkeiten gefunden, während in der Längsschnittanalyse einige wenige Wirkungen in Richtung einer Verbesserung des Verhaltens beobachtet wurden. Die Autoren schlussfolgerten, dass es insgesamt in dieser Studie keine konsistenten Hinweise auf einen Einfluss der HF-EMF-Exposition auf Verhaltensauffälligkeiten gab. Die Studienqualität wurde als hoch bewertet.

Gesamteinschätzung

Insgesamt kamen die Autoren bei fünf Studien (Birks et al. 2017; Divan et al. 2008, 2012; Sudan et al. 2016; Thomas et al. 2010b) von moderater und hoher Studienqualität zu dem Schluss, dass es Hinweise auf einen möglichen Zusammenhang zwischen einer Mobilfunkexposition und Verhaltensauffälligkeiten bei Kindern und Jugendlichen gab. Allerdings erklärten die Autoren zugleich, dass die Aussagekraft dieser Studien u. a. durch die ungenaue Expositionsbestimmung anhand von Fragebögen, die teilweise auch retrospektiv ausgefüllt wurden, und durch die fehlende Berücksichtigung von weiteren Confoundern (z. B. Hyperaktivität der Mutter) eingeschränkt sein könnte. In drei Studien (Guxens et al. 2013; Guxens et al. 2019; Roser et al. 2016) von moderater und hoher Studienqualität wurden keine konsistenten Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Exposition bei Mobilfunk und Verhaltensauffälligkeiten gefunden.

5.1.2.5 Frühkindliche Entwicklung

Es wurden insgesamt vier Studien zur frühkindlichen Entwicklung im Zusammenhang mit einer Mobilfunkexposition analysiert (Kap. 8.2.3): Sie stammen aus der spanischen INMA-Kohorte, der dänischen DNBC-Kohorte, der koreanischen MOCEH-Kohorte und der norwegischen MoBa-Kohorte.

Die frühkindliche Entwicklung umfasst das körperliche Wachstum und die Entwicklung des Gehirns und des Nervensystems in den ersten Lebensjahren, als Voraussetzung für die Aneignung der motorischen, sprachlichen, sensorischen und geistigen Fähigkeiten. Für bestimmte Altersstufen (z. B. 6, 12, 18, 24 und 36 Monate) sind unterschiedliche Entwicklungsschritte festgelegt, anhand derer die altersgemäße Entwicklung des Kleinkinds verfolgt werden kann. Zur Bestimmung der kognitiven, psychomotorischen und sprachlichen Entwicklung wurden in allen vier Studien validierte Instrumente (z. B. Bayley-Skala) angewendet. In zwei Studien nahm Fachpersonal die entsprechenden Untersuchungen vor, während in den beiden anderen Studien die Mütter befragt wurden. Als Exposition wurde in allen Studien die Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft untersucht. Die Angaben hierzu wurden in drei Studien während der Schwangerschaft und in einer Studie retrospektiv, als das Kind 7 Jahre alt war, erhoben. Zusätzlich wurde in der Studie von Choi et al. (2017) die HF-EMF-

^
› 5 Mögliche Risiken durch HF-EMF speziell bei Kindern und älteren Menschen
v

Exposition mithilfe eines Personendosimeters gemessen, das die Mutter 24 Stunden lang am Körper trug.

Die Studien im Überblick

Vrijheid et al. (2010) untersuchten bei 530 Kindern aus der spanischen INMA-Kohorte die geistige und psychomotorische Entwicklung des Kleinkinds im Alter von 14 Monaten im Zusammenhang mit der Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft. Bei mehr als fünf Telefonaten pro Tag wurde eine statistisch signifikant schlechtere psychomotorische Entwicklung festgestellt. Die Autoren folgerten jedoch, dass es insgesamt kaum Hinweise auf eine schädliche Wirkung der Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft auf die Entwicklung ihres Kleinkinds gab und dass die beobachteten Wirkungen auf nicht berücksichtigten Confoundern beruhen könnten. Die Studienqualität wurde aufgrund der Expositionsbestimmung mithilfe eines Fragebogens als moderat bewertet.

In der dänischen DNBC-Kohorte wurde bei über 41.000 Mutter-Kind-Paaren der Zusammenhang zwischen der Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft und der motorischen, kognitiven und sprachlichen Entwicklung des Kleinkinds im Alter von 6 und 18 Monaten untersucht (Divan et al. 2011). Es wurden keine statistisch signifikanten Ergebnisse gefunden. Die Autoren zogen den Schluss, dass es keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen der Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft und der motorischen, kognitiven und sprachlichen Entwicklung ihres Kleinkinds gab. Die Studienqualität wurde aufgrund der Expositionsbestimmung mithilfe eines Fragebogens als moderat bewertet.

Choi et al. (2017) untersuchten bei knapp 1.200 Mutter-Kind-Paaren aus der koreanischen MOCEH-Kohorte die kognitive und psychomotorische Entwicklung der Kleinkinder in Verbindung mit der HF-EMF-Exposition und der Mobiltelefonnutzung der Mütter während der Schwangerschaft. Zusätzlich wurde der Bleigehalt im Blut der Mutter während der Schwangerschaft bestimmt, da frühere Studien (z. B. Jedrychowski et al. 2009; Liu et al. 2014; Vigeh et al. 2014) eine verzögerte Entwicklung des Gehirns von Kindern mit pränataler Bleiexposition aufzeigten. Es wurden keine statistisch signifikanten Ergebnisse für die HF-EMF-Exposition und die Mobiltelefonnutzung gefunden. Die Autoren schlussfolgerten, dass es keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der pränatalen HF-EMF-Exposition sowie der Mobiltelefonnutzung der Mutter und der Entwicklung des Gehirns bei ihren Kindern in den ersten drei Lebensjahren gab. Jedoch wurden Hinweise auf eine mögliche Wechselwirkung zwischen der pränatalen Exposition bei Blei und der Mobiltelefonnutzung gefunden. D. h. bei Müttern, die während der Schwangerschaft sowohl einen höheren Bleigehalt im Blut als auch länger das Mobiltelefon nutzten, hatten die Kinder ein höheres Risiko für eine verzögerte psychomotorische Entwicklung. Eine ähnliche Wechselwir-



kung zwischen dem Bleigehalt im Blut und einer Mobiltelefonnutzung der Kinder wurde auch von Byun et al. (2013) im Zusammenhang mit ADHS gefunden (Kap. 5.1.2.3). Die Studienqualität von Choi et al. (2017) wurde als hoch eingestuft.

Papadopoulou et al. (2017) untersuchten an mehr als 45.000 Mutter-Kind-Paaren aus der norwegischen MoBa-Kohorte die sprachliche und motorische Entwicklung von 3- bis 5-jährigen Kindern im Zusammenhang mit der Mobiltelefonnutzung der Mütter während der Schwangerschaft. Es wurden einige statistisch signifikante Ergebnisse in Richtung einer Verbesserung der sprachlichen und motorischen Fähigkeiten bei einer Mobiltelefonnutzung der Mütter gefunden. Die Autoren schlussfolgerten, dass es keine Hinweise auf eine Beeinträchtigung der frühkindlichen sprachlichen und motorischen Entwicklung durch eine Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft gab. Die Studienqualität wurde aufgrund der Expositionsbestimmung mithilfe eines Fragebogens als moderat bewertet.

Gesamteinschätzung

Insgesamt sind die Ergebnisse der epidemiologischen Studien zur frühkindlichen Entwicklung konsistent. Es gab keine Hinweise auf einen möglichen Zusammenhang zwischen der Mobiltelefonnutzung der Mütter während der Schwangerschaft und der frühkindlichen Entwicklung ihrer Kinder bis zu einem Alter von 5 Jahren. Die Studienqualität war jedoch bei drei Studien aufgrund der Expositionsbestimmung mithilfe eines Fragebogens nur moderat. Jedoch wurden Hinweise auf eine mögliche Wechselwirkung zwischen der pränatalen Exposition bei Blei und der Mobiltelefonnutzung gefunden. Das heißt, bei Müttern, die während der Schwangerschaft sowohl einen höheren Bleigehalt im Blut als auch länger das Mobiltelefon nutzten, hatten die Kinder ein höheres Risiko für eine verzögerte psychomotorische Entwicklung.

5.1.2.6 Sonstige Aspekte (Endpunkte)

In einer britischen Fallkontrollstudie (Elliott et al. 2010) mit 1.397 Fällen und 5.588 Kontrollen wurde der mögliche Zusammenhang zwischen der Exposition von Müttern bei den HF-EMF von Mobilfunkbasisstationen während der Schwangerschaft und dem Auftreten von Krebs bei ihren Kindern untersucht. In dieser Studie wurde die häusliche Exposition bei Mobilfunkbasisstationen mit einer auf Betreiberdaten und Messungen basierenden Berechnung bestimmt. Dagegen lagen zur Exposition des Kindes nach der Geburt sowie zur pränatalen Exposition bei anderen HF-EMF-Quellen keine Schätzungen vor. Es wurde kein Hinweis auf einen möglichen Zusammenhang zwischen der Exposition der Mütter bei HF-EMF von Mobilfunkbasisstationen während der Schwangerschaft und

5 Mögliche Risiken durch HF-EMF speziell bei Kindern und älteren Menschen

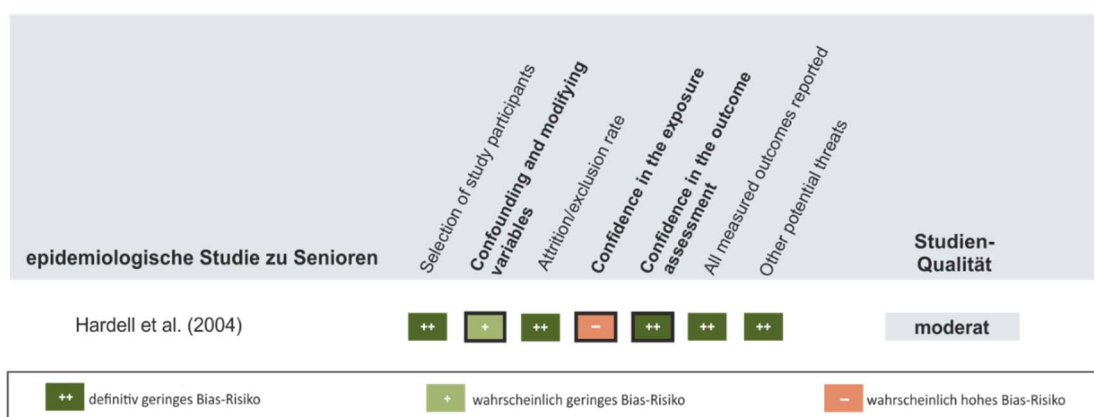
dem Auftreten von Krebs bei Kindern gefunden. Die Studienqualität wurde als hoch bewertet.

Sudan et al. (2013) untersuchten bei mehr als 52.000 Kindern aus der dänischen DNBC-Kohorte den dauerhaften Hörverlust bei 7-jährigen Kindern in Verbindung mit ihrer Mobiltelefonnutzung. Bei einer von drei unterschiedlichen Auswertungsmethoden war ein Ergebnis statistisch signifikant. Die Autoren schlussfolgerten einen schwachen Zusammenhang zwischen der Mobiltelefonnutzung und einem dauerhaften Hörverlust bei 7-Jährigen, aufgrund der unklaren Kausalität sei das Ergebnis jedoch nur mit Vorsicht zu interpretieren. Die Studienqualität wurde aufgrund der Expositionsbestimmung mit einem Fragebogen als moderat bewertet.

5.1.3 Wirkungen auf ältere Menschen in der epidemiologischen Studie

Im Rahmen des systematischen Reviews konnte keine experimentelle Studie gefunden werden. Zudem wurde nur eine epidemiologische Publikation (Hardell et al. 2004) zu den Wirkungen von Mobilfunkexposition auf Menschen über 65 Jahren identifiziert. Diese Studie war von moderater Qualität (Abb. 5.3). Die deutliche methodische Schwäche wurde bezüglich des Kriteriums *Confidence in the exposure* (Qualität der Expositionsbestimmung) aufgrund der Expositionsbestimmung mithilfe eines Fragebogens identifiziert. Die Studienqualität wurde als moderat bewertet.

Abb. 5.3 Biasrisikobewertung für die epidemiologische Studie zu älteren Menschen (n = 1)



Die Bewertungen der einzelnen Kriterien sind Grundlage für die Zuordnung der Studie zu den Qualitätskategorien hoch, moderat, gering (Kap. 8.2.4). Die Schlüsselskriterien sind gefettet bzw. umrandet.

Quelle: femu 2019, S. 18

Hardell et al. (2004) führten eine Fallkontrollstudie mit 1.429 Fällen und 1.470 Kontrollen im Alter von 20 bis 80 Jahren zum Zusammenhang zwischen Mobil- und Schnurlostelefonnutzung und dem Risiko für Hirntumor mit dem Fokus auf unterschiedliche Altersgruppen in Schweden durch. In der Altersgruppe der 70- bis 80-Jährigen wurden keine statistisch signifikanten Ergebnisse für das Auftreten von Hirntumor bei den Nutzern analoger und digitaler Mobiltelefone sowie Schnurlostelefonen gefunden. Die Studienqualität wurde aufgrund der Expositionsbestimmung mithilfe eines Fragebogens als moderat bewertet.

5.2 Zusammenfassende Bewertung

5.2.1 Wirkungen und Evidenz in experimentellen Studien

Von den 12 experimentellen Studien zeigten vier (mit insgesamt 137 Kindern und Jugendlichen) eine Wirkung der Mobiltelefonexposition. Zwei Studien fanden eine Veränderung der Hirnaktivität (Krause et al. 2006; Leung et al. 2011) bzw. eine Beeinträchtigung der kognitiven Leistungsfähigkeit (Leung et al. 2011) und eine Studie vermerkte eine Verbesserung des Kurzzeitgedächtnisses (Movvahedi et al. 2014). Eine weitere Studie (Nam et al. 2006) stellte einen signifikant verringerten Hautwiderstand während der Mobiltelefonexposition fest, was die Autoren als Wirkung auf das autonome Nervensystem deuteten. Nur eine der vier Studien, die eine Wirkung einer HF-EMF-Exposition aufzeigten, war von hoher Studienqualität (Leung et al. 2011). Acht Studien konnten keine Wirkungen auf die Hirnaktivität, die kognitiven Funktionen oder physiologische Parameter feststellen. Alle vier Studien, die eine Wirkung einer HF-EMF-Exposition aufzeigten, untersuchten die Exposition mit einem Mobiltelefon. Die einzige (Ridder-vold et al. 2008) experimentelle Studie zur Exposition bei einer Mobilfunkbasisstation konnte keine Wirkung aufdecken.

Ob die gefundenen Ergebnisse eine gesundheitliche Relevanz haben und welcher Wirkungsmechanismus zugrunde liegen könnte, ist nicht geklärt. Aufgrund der inkonsistenten Datenlage, der aufgrund der notwendig zu erfüllenden Einschlusskriterien insgesamt geringen Studienzahl ($n = 12$), der relativ kleinen Teilnehmerzahlen in den einzelnen Studien (15 bis 60 Teilnehmende, Median = 26, Mittelwert = 30) sowie der geringen Anzahl der Studien, die eine Wirkung der Mobiltelefonexposition feststellen konnten ($n = 4$), deren durchwachsender Studienqualität (eine Studie von hoher Qualität, zwei von moderater und eine von geringer Qualität) sowie der ungeklärten gesundheitlichen Relevanz der gefunden Wirkungen lässt sich momentan auf Grundlage der experimentellen Studien keine klare bzw. seriöse Einschätzung zu den möglichen biologischen und gesundheitlichen Wirkungen von HF-EMF kabelloser Kommunikationsgeräte auf Kinder und Jugendliche treffen. Die Evidenz für Wirkungen von HF-EMF kabel-

loser Kommunikationsgeräte auf Kinder und Jugendliche ist auf Basis der experimentellen Studien insgesamt als unzureichend einzustufen.

Auch Studien mit Erwachsenen haben gezeigt, dass eine Mobiltelefonexposition die Hirnaktivität beeinflussen könnte (Danker-Hopfe et al. 2019a; Hug et al. 2014; Loughran et al. 2019; SCENIHR 2015). Fünf der zwölf experimentellen Studien zu Kindern und Jugendlichen haben zugleich auch Erwachsene untersucht (Choi et al. 2014; Riddervold et al. 2008; Leung et al. 2011; Croft et al. 2010; Nam et al. 2006). Dabei konnte in zwei Studien festgestellt werden, dass ein verringerter Hautwiderstand während der Exposition nur bei den Jugendlichen auftrat und nicht bei den Erwachsenen (Nam et al. 2006) und dass bei einer kognitiven Aufgabe (n-back-Test) die Leistungsfähigkeit nur bei den Jugendlichen verschlechtert war (Leung et al. 2011). Alle anderen Parameter in den beiden Studien waren bei den unterschiedlichen Altersgruppen nicht verändert. Auch die restlichen drei Studien konnten keine unterschiedlichen Ergebnisse in Abhängigkeit vom Alter finden.

In der Gesamtschau der Literatur kann daher keine Aussage darüber getroffen werden, ob Kinder und Jugendliche ggf. empfindlicher auf eine Mobilfunkexposition reagieren als Erwachsene, da die Daten aus den hier eingeschlossenen Studien zu Kindern und Jugendlichen und insbesondere aus denen, die vergleichend auch Erwachsene untersucht haben, insgesamt inkonsistent sind. Da in den experimentellen Studien ausschließlich akute und kurzfristige Wirkungen untersucht wurden, kann deshalb keine Aussage über mögliche langfristige Wirkungen getroffen werden.

5.2.2 Wirkungen in epidemiologischen Studien zu Kindern

Von den 36 epidemiologischen Studien wurde in 12 Studien eine Mobilfunkexposition der Mutter und die Wirkung auf die Gesundheit des Kindes untersucht und in jeweils 15 Studien die Mobilfunkexposition bei Kindern im Alter von 5 bis 12 Jahren bzw. bei Jugendlichen ab 13 Jahren. In sechs Studien wurden jeweils zwei Altersgruppen berücksichtigt.

Für die Mobilfunkexposition (Mobiltelefon oder Basisstation) der Mutter während der Schwangerschaft ergaben sich in vier Studien (Birks et al. 2017; Divan et al. 2008, 2012; Sudan et al. 2016) Hinweise auf Verhaltensauffälligkeiten und in einer Studie Hinweise für gesundheitliche Beschwerden (Sudan et al. 2012) bei den Kindern, als diese zwischen 5 und 11 Jahre alt waren. Alle 12 Veröffentlichungen basieren auf Kohorten, in der die Mobiltelefonnutzung der Mutter retrospektiv ermittelt wurde, als das Kind 7 Jahre alt war. Deswegen wurde die Qualität dieser Studien als moderat bewertet. Alle anderen sieben Studien, in denen die Mobilfunkexposition der Mutter während der Schwangerschaft und die Auswirkungen auf das Kind untersucht wurden, lieferten keine Hinweise auf Verhaltensauffälligkeiten, Wirkungen auf die frühkindliche Entwicklung, kognitiven



Fähigkeiten oder das Risiko für Krebs. Auch bei diesen Studien war die Qualität aufgrund von Mängeln in der Expositionsabschätzung bei fünf der sieben Studien moderat.

Auch bei der Untersuchung einer Mobiltelefonnutzung bei Kindern selbst wurden in vier Studien Hinweise auf Verhaltensauffälligkeiten (Divan et al. 2008, 2012; Sudan et al. 2016; Thomas et al. 2010b) und in zwei Studien Wirkungen auf gesundheitliche Beschwerden (Redmayne et al. 2013; Zheng et al. 2015), z. B. Müdigkeit und Kopfschmerzen, gefunden. Dabei waren drei der sechs Studien dieselben Studien, die auch schon Hinweise auf eine mögliche Wirkung einer Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft geliefert hatten (Divan et al. 2008, 2012; Sudan et al. 2016). Fünf der sechs Studien wurden aufgrund von Mängeln bei der Expositionsabschätzung einer moderaten Qualität zugeordnet. Alle anderen neun Studien lieferten entweder keine oder inkonsistente Hinweise auf Verhaltensauffälligkeiten, gesundheitliche Beschwerden, Wirkungen auf kognitive Fähigkeiten oder einen dauerhaften Hörverlust. Vier der neun Studien wurden einer hohen Studienqualität zugeordnet, bei fünf Studien war die Qualität aufgrund von Mängeln in der Expositionsabschätzung moderat.

Sechs Studien, die die Wirkung von Mobilfunk auf Jugendliche untersucht hatten, erbrachten Hinweise auf Wirkungen auf die kognitiven Fähigkeiten (Forster et al. 2018; Schoeni et al. 2015), gesundheitliche Beschwerden, z. B. Kopfschmerzen, Müdigkeit (Chiu et al. 2015; Durusoy et al. 2017; Mortazavi et al. 2011) und Verhaltensauffälligkeiten (Thomas et al. 2010b). Da drei der sechs Studien eine hohe Studienqualität hatten, war die Studienqualität der Studien, die eine Wirkung einer HF-EMF-Exposition aufzeigten, hier durchschnittlich besser als bei den anderen (zuvor beschriebenen) Studiengruppen, die Hinweise auf eine Wirkung durch eine Mobilfunkexposition fanden. Alle anderen neun Studien, in denen Jugendliche untersucht wurden, zeigten entweder keine oder inkonsistente Hinweise auf gesundheitliche Beschwerden, Wirkungen auf kognitive Fähigkeiten und Verhaltensauffälligkeiten. Auch bei diesen Studien war die Studienqualität besser als bei den Studiengruppen zu Kindern und pränataler Exposition: Fünf der neun Studien hatten eine hohe Qualität. In den verschiedenen Altersgruppen wurden am häufigsten Verhaltensauffälligkeiten beschrieben, insbesondere bei den Kindern, die während der Schwangerschaft in utero exponiert waren oder selbst telefonierten. Darüber hinaus gaben Kinder und Jugendliche ebenfalls gesundheitliche Beschwerden (Kopfschmerzen oder Müdigkeit) an, wenn sie mit dem Mobiltelefon telefonierten. Wirkungen auf die Kognition konnten nur bei den Jugendlichen identifiziert werden.

Die meisten epidemiologischen Studien untersuchten die alleinige Mobiltelefonnutzung (n = 22, teilweise auch um Schnurlostelefonnutzung ergänzt), 12 Studien berücksichtigten verschiedene Expositionsquellen (Mobiltelefon, Basisstation, Fernsehantennen etc.). Jeweils eine Studie untersuchte die alleinige Exposition bei Mobilfunkbasisstationen (Elliott et al. 2010) bzw. gemeinsam mit

anderen Antennenanlagen (Schoeni et al. 2016). Von den 36 eingeschlossenen Studien erbrachten zehn Studien Hinweise auf Wirkungen im Zusammenhang mit einer Mobiltelefonnutzung (Birks et al. 2017; Chiu et al. 2015; Divan et al. 2008, 2012; Durusoy et al. 2017; Mortazavi et al. 2011; Redmayne et al. 2013; Sudan et al. 2012; Sudan et al. 2016; Zheng et al. 2015) und drei Studien im Zusammenhang mit der Gesamtexposition (Foerster et al. 2018; Schoeni et al. 2015; Thomas et al. 2010b).

5.2.2.1 Methodische Einschränkungen

Zu einer Fehlklassifizierung der Exposition kann es z. B. kommen, wenn die Expositionsbestimmung auf den selbstberichteten Angaben der Mobiltelefonnutzer beruht (Aydin et al. 2011a). So konnten Schoeni et al. (2015) aufzeigen, dass Jugendliche ihre Anrufdauer im Vergleich zu den objektiven Betreiberdaten um den Faktor 7 überschätzten. Ebenso kann es zu einer Fehlklassifizierung des Endpunkts kommen, wenn nur subjektive Angaben, wie Kopfschmerzen, vorliegen und keine objektiven Parameter, wie Messwerte, herangezogen werden. Reverse Kausalität kann auftreten, wenn die Exposition und der Endpunkt zum selben Zeitpunkt erhoben werden, sodass nicht klar bestimmt werden kann, was die Ursache und was die Wirkung ist. So können z. B. Verhaltensauffälligkeiten durch häufiges Telefonieren auftreten oder es wird aufgrund von Verhaltensauffälligkeiten (z. B. Hyperaktivität) mehr telefoniert.

Eine Restriktion bei epidemiologischen Studien resultiert auch aus einer unzureichenden Berücksichtigung von Störgrößen (Confounder), die sowohl die Exposition als auch den Endpunkt beeinflussen können. Obwohl in diesem Review bei über 91 % der Studien Confounder in der Analyse berücksichtigt wurden, sind dennoch weitere mögliche Confounder für Verhaltensauffälligkeiten beim Kind zu diskutieren: mangelnde Aufmerksamkeit der Mutter für ihr Kind, wenn sie selbst mit dem Mobiltelefon beschäftigt war (Divan et al. 2008), und Hyperaktivität der Mutter (Thomas et al. 2010b). Foerster et al. (2018) wiesen zudem auf den Confounder »Pubertät« hin, der sich sowohl auf die Gewohnheiten zur Mobiltelefonnutzung als auch auf die kognitiven Fähigkeiten und das Verhalten der Jugendlichen auswirken könnte. Die Nutzung anderer elektronischer Medien (z. B. Computer, Spielkonsole, Fernsehen) kann zudem ein Confounder für Kopfschmerzen sein (Milde-Busch et al. 2010).

Grundsätzlich können bei umfangreichen Auswertungen mit vielen Einzelergebnissen auch immer Zufallsergebnisse auftreten, die die Aussagekraft der Studien limitieren, wie z. B. bei Schoeni et al. (2017), wo es wenige statistisch signifikante Ergebnisse bei insgesamt 168 Einzelergebnissen gab.

5.2.2.2 Evidenz

Insgesamt ist die Evidenz für Wirkungen von HF-EMF auf Kinder und Jugendliche auf Basis der epidemiologischen Studien als unzureichend bis gering einzustufen. Von den 13 Studien, die einen Zusammenhang zwischen einer Mobilfunkexposition und Wirkungen auf Kinder und Jugendliche zeigen, hatten nur drei Studien (Foerster et al. 2018; Schoeni et al. 2015; Thomas et al. 2010b) ein geringes Biasrisiko und waren einer hohen Studienqualität zuzuordnen.

Foerster et al. (2018) und Schoeni et al. (2015) fanden bei Jugendlichen in der HERMES-Kohorte eine veränderte visuelle Gedächtnisleistung im Kontext einer HF-EMF-Exposition. Die Ergebnisse der anderen acht Publikationen zu den Wirkungen einer Mobilfunkexposition auf die kognitiven Fähigkeiten bei Kindern und Jugendlichen waren aber überwiegend inkonsistent und es wurden sowohl Verschlechterungen als auch Verbesserungen bei den verschiedenen untersuchten Parametern gefunden. Einige Autoren ordneten die signifikanten Ergebnisse eher dem Studiendesign oder dem Zufall zu. Zwei Studien von hoher Qualität konnten weder Wirkungen auf das Konzentrationsvermögen (Roser et al. 2016) noch auf verschiedene kognitive Fähigkeiten feststellen (Guxens et al. 2016). Die Evidenz für eine Wirkung einer Mobilfunkexposition auf die kognitiven Fähigkeiten von Kindern und Jugendlichen wird auf Basis der eingeschlossenen Studien deswegen insgesamt als gering eingestuft.

Thomas et al. (2010b) fanden in ihrer Studie von hoher Qualität Verhaltensauffälligkeiten bei Kindern und Jugendlichen in der höchsten Expositionsgruppe. Vier weitere Studien von moderater Qualität fanden ebenfalls Hinweise für Verhaltensauffälligkeiten im Zusammenhang mit der Mobilfunkexposition. Auch hier wiesen die Autoren darauf hin, dass die Aussagekraft der Ergebnisse durch die ungenaue Expositionsbestimmung und durch fehlende Berücksichtigung von Confoundern eingeschränkt sein könnte. Zwei Studien von hoher Qualität konnten keine konsistenten Hinweise auf Verhaltensauffälligkeiten finden (Guxens et al. 2019; Roser et al. 2016). Die Evidenz für eine Wirkung einer Mobilfunkexposition auf das Verhalten von Kindern und Jugendlichen wird auf Basis der eingeschlossenen Studien daher als gering eingestuft.

Auch die Evidenz für Wirkungen einer Mobilfunkexposition auf gesundheitliche Beschwerden, z. B. Kopfschmerzen und Müdigkeit, wird als gering eingestuft. Es lagen zwar verschiedene Hinweise für diese Wirkungen in Studien von schlechter und moderater Qualität vor, aber die Autoren schränkten die Aussagekraft ihrer Ergebnisse aufgrund von möglichem Confounding, reverser Kausalität und anderen Biasrisiken ein.

Die Ergebnisse der epidemiologischen Studien zur frühkindlichen Entwicklung lieferten konsistent keine Hinweise auf einen möglichen Zusammenhang zwischen der Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft und der frühkindlichen Entwicklung bis zu einem Alter von 5 Jahren. Da die

^
› 5 Mögliche Risiken durch HF-EMF speziell bei Kindern und älteren Menschen
v

Studienqualität bei drei der vier Studien jedoch als nur moderat bewertet wurde, wird die Evidenz zum Thema »Frühkindliche Entwicklung« als unzureichend eingestuft.

Die Evidenz für das Krebs-Risiko von HF-EMF kabelloser Kommunikationsgeräte auf Kinder und Jugendliche ist auf Basis einer einzigen epidemiologischen Studie (die keinen Effekt fand; Elliott et al. 2010) als unzureichend einzustufen.

5.3 Fazit

Es wurden 36 epidemiologische und 12 experimentelle Studien zu Kindern und Jugendlichen sowie eine epidemiologische Studie zu älteren Menschen im Hinblick auf die biologischen und gesundheitlichen Folgen von HF-EMF kabelloser Kommunikationsgeräte (Mobilfunk, Schnurlostelefon, WLAN, Bluetooth etc.) systematisch analysiert und bewertet. In 34 Studien wurde die Nutzung eines Mobiltelefons untersucht, in 2 Studien die Exposition bei Mobilfunkbasisstationen und 13 Studien untersuchten die Nutzung eines Mobiltelefons zusammen mit der Exposition z. B. bei Basisstationen, Fernseh- und Rundfunksendern.

In insgesamt 17 Studien fanden sich Hinweise auf verschiedene Wirkungen. In den epidemiologischen Studien wurden am häufigsten Auffälligkeiten im Verhalten beschrieben, insbesondere bei Kindern, die selbst telefonierten oder die während der Schwangerschaft in utero exponiert waren. Darüber hinaus gaben Kinder und Jugendliche gesundheitliche Beschwerden (Kopfschmerzen, Müdigkeit etc.) an, wenn sie mit dem Handy telefonierten. Ebenso wurden Wirkungen auf die Kognition bei Jugendlichen gefunden. In den experimentellen Studien gab es einzelne Hinweise auf Veränderungen der Hirnaktivität, des Hautwiderstands und eine Beeinträchtigung der kognitiven Leistungsfähigkeit. Die einzige epidemiologische Studie zu Senioren zeigte keine statistisch signifikanten Ergebnisse für das Auftreten von Hirntumor bei den Nutzern von Mobiltelefonen.

Die meisten Studien weisen jedoch eine Reihe von methodischen Schwächen auf, die die interne Validität der Ergebnisse einschränken. Nur drei epidemiologische Studien und eine experimentelle Studie, die eine Wirkung der HF-EMF-Exposition fanden, hatten ein geringes Biasrisiko und wurden dementsprechend einer hohen Studienqualität zugeordnet. Die anderen 13 Publikationen mit Hinweisen auf Wirkungen hatten nur eine moderate ($n = 11$) oder gar eine geringe ($n = 2$) Studienqualität. Zukünftige Studien sollten daher gezielter Biasrisiken bezüglich des Designs, der Durchführung sowie der Dokumentation der Studie minimieren. Hierbei sollten insbesondere die Schlüsselfaktoren Verblindung, Expositionsbestimmung sowie die vollständige Beschreibung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Aufgrund der insgesamt quantitativ und qualitativ noch immer unzureichenden Studienlage kann die Evidenz für Wirkungen von Mobilfunk auf die Kog-



nition, das Verhalten und subjektive Beschwerden bei Kindern und Jugendlichen nicht abschließend beurteilt werden. Die unzureichende Studienlage insbesondere im Hinblick auf möglich negative gesundheitliche Auswirkungen ist zugleich derzeit nicht ausreichend, um Wirkungen (insbesondere Langzeitwirkungen) auszuschließen. Für Wirkungen auf die frühkindliche Entwicklung, Krebs und physiologische Parameter ist die Datenlage unzureichend, um eine Schlussfolgerung über etwaige Wirkungen abzuleiten. Es kann bis dato auch keine Aussage darüber getroffen werden, ob Kinder und Jugendliche grundsätzlich empfindlicher auf eine Mobilfunkexposition reagieren als Erwachsene. Dies wäre jedoch prinzipiell von großer Relevanz. Zu den möglichen Wirkungen auf ältere Menschen können auf Basis einer einzelnen Studie keine Schlussfolgerungen gezogen werden.

Es besteht somit weiterhin eine große Notwendigkeit zur Durchführung qualitativ hochwertiger Studien in den Altersgruppen von Kindern und Jugendlichen, in denen insbesondere das Risiko für Hirntumor stärkere Berücksichtigung finden sollte. Auch sollten die Ergebnisse der epidemiologischen Studien zu Verhaltensauffälligkeiten, kognitiven Fähigkeiten und gesundheitlichen Beschwerden in Kohortenstudien mit objektiver prospektiver Expositionsbestimmung überprüft werden. Außerdem besteht ein Bedarf an qualitativ hochwertigen experimentellen Studien zu den Wirkungen auf das Nervensystem. Zukünftige experimentelle Studien sollten eine größere Anzahl an Kindern und Jugendlichen und unterschiedliche Altersklassen berücksichtigen. Weitere Querschnittsstudien, die auf subjektiven Expositionsangaben basieren, sind hingegen verzichtbar, da ihre Aussagekraft eingeschränkt ist.



6 Erkenntnisse, Herausforderungen und Forschungsbedarf bei HF-EMF

6.1 Wissenslücken und Forschungsbedarf

Ausgehend vom gegenwärtigen Wissensstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen bzw. Risiken von HF-EMF haben Dürrenberger und Fröhlich von der FSM (2017) Wissenslücken bzw. Forschungsbedarfe identifiziert. Dabei wurden die neuen wissenschaftlichen Methoden oder Instrumente berücksichtigt, um bestimmte Fragestellungen mit Aussicht auf relevante Erkenntnisse anzugehen. Es wurden aber auch übergreifende Aspekte in die Überlegungen einbezogen, wie etwa die potenzielle gesundheitspolitische Relevanz eines Themas oder die öffentliche Wahrnehmung bzw. gesellschaftliche Kontroversen.

Einen Überblick zum aktuellen Wissensstand und Forschungsbedarfen in Bezug auf die einzelnen Endpunkte bietet Tabelle 6.1. Wie im gesamten Bericht entsprechen auch hier die Farben der Zellen dem Evidenzstand bei den jeweiligen Endpunkten. In der rechten Spalte wird der Forschungsbedarf anhand knapper Hinweise charakterisiert.

Tab. 6.1 Wissensstand und Forschungsbedarf

Wissensstand aktuell	Bemerkungen zum Forschungsbedarf
Krebs	
Tumore im Kopfbereich	In zukünftigen Studien ist bei der Klassifikation der Exposition der große Einfluss der Kopfanatomie zu berücksichtigen.
Tumore bei Kindern	Klärungsbedarf/höheres Risiko als Erwachsene?
andere Tumore	Neue Hinweise aus Tierstudien ziehen Klärungsbedarf nach sich/Übertragbarkeit auf Menschen?
Neurodegeneration/ neuronale Erkrankungen	Hoher Klärungsbedarf/Bisher nur Zell- und Tierstudien. Risiko für die menschliche Gesundheit ist abzuklären.
Fertilität	
Entwicklung	
kardiovaskulär/ Blutsystem	Bisher nur wenige Studien, diese Lücke gilt es zu schließen.
EEG	Auswirkung auf Gesundheit (chronisch) offen.
Kognition	z. T. widersprüchliche Evidenz auf biologischer Ebene wäre abzuklären.



6 Erkenntnisse, Herausforderungen und Forschungsbedarf bei HF-EMF

Kinder	Klärung zusammen mit anderen Aspekten bei Kindern.
Schlaf	
Kinder	Kein Effekt von EMF nachgewiesen, eher durch Gebrauch der Mobiltelefone.
unspezifische Symptome	Identifikation spezifisch sensibler Personen sinnvoll. Ermöglicht ggf. gezielte Effektforschung.
Nozeboeffekt	
Kinder	Klärung zusammen mit anderen Aspekten bei Kindern.
Hormone/Drüsen	Bisher keine Studien bezüglich Gesundheit.
Melatonin	
Stressproteine/Genexpression	
Blut-Hirn-Schranke	
Verhalten allg.	Wenige Humanstudien
Kinder und Jugendliche	Effekte eher durch Gebrauch bestimmt. Studien zum Einfluss der Gebrauchsmuster wären sinnvoll.
Wirkmechanismen	Studien zu Variabilität und Einfluss auf die Stabilität von zellulären Prozessen.
Genschädigung	Bei Zellstudien: zunehmend Hinweise, denen nachzugehen wäre.
Sauerstoffradikale	Klärung der Auswirkungen sinnvoll
Genexpression	
Zellfunktionen/Membran	
anderes	
Kinder und Jugendliche allg.	Bisher wenige Studien. Klärung zusammen mit anderen Aspekten bei Kindern
ältere Menschen	Bisher sehr wenige Studien. Klärung zusammen mit anderen Aspekten bei Älteren
Immunsystem	Wenige Tierstudien
Metabolismus	Eine Tierstudie
Sinne (Gehör, Netzhaut)	Viele Tierstudien, oft minderer Qualität
Zellen allg.	
Adaptive Response	Klärung im Zusammenhang mit chronischen Krankheiten oder Beeinträchtigungen sinnvoll.

Eigene Darstellung nach FSM 2017, S. 44f.



Politisch relevant – auch für ggf. neuerliche Regulierungsnotwendigkeiten – erscheinen vor allem Endpunkte, die in der öffentlichen Debatte präsent sind und bei denen noch kein abschließendes wissenschaftliches Urteil gefällt werden kann. Dabei handelt es sich insbesondere um Krebserkrankungen, Einflüsse auf Kognition und Schlaf (speziell Kinder), sowie einen möglichen Zusammenhang mit neurodegenerativen Erkrankungen. Aus dieser Perspektive und in einer Gesamtabwägung wird von der FSM (2017, S.45 f.) insbesondere folgender Forschungsbedarf gesehen (die Reihenfolge stellt keine Priorisierung dar):

Krebsentstehung und -promotion

Hinweise aus Studien zu Kindern und Jugendlichen sowie epidemiologische Studienresultate der letzten Jahre haben an der IARC-Einstufung von EMF als »möglicherweise kanzerogen« zwar nicht grundsätzlich gerüttelt, dennoch zeigen neuere Tierstudien nun erhöhte Inzidenzen. Zudem haben die Resultate der beiden groß angelegten aktuellen Tierstudien (Kap. 6.2) sowohl die Fachdiskussion als auch die öffentliche Debatte betreffend Hirntumorrisiken intensiviert. Wissenschaftlich gesehen besteht ein erheblicher Klärungsbedarf, da zwar die Ergebnisse beider Studien in dieselbe Richtung weisen, allerdings im Detail zum Teil inkonsistent bzw. unklar sind und nach wie vor die Frage nach dem kausalen Wirkmechanismus nicht beantworten. Welche Relevanz diese Tierstudien für die Einschätzung des gesundheitlichen Risikos für Menschen haben, wird von den unterschiedlichen Gremien bzw. Akteuren kontrovers beurteilt. Von einigen werden die Resultate zum Anlass genommen, eine Neubewertung der Risikoklassifizierung durch die IARC zu fordern (Falcioni et al. 2018). Andere wiederum konstatieren, dass die Ergebnisse keine Schlussfolgerungen bezüglich eines Zusammenhangs zwischen HF-EMF und Karzinogenität bei Menschen zulassen (ICNIRP 2019). Auch hier besteht offensichtlich Klärungsbedarf.

Adaptive Response

Neuere Tierstudien zeigen eine adaptive Antwort bei Exposition mit HF-EMF vor Einwirkung mit anderen Noxen. EMF dämpft teilweise die schädlichen Einflüsse. Es sollte abgeklärt werden, wie stichhaltig diese Befunde sind. Unter anderem könnten sich daraus gezielte Fragestellungen hinsichtlich möglicher (relevanter) Wirkmechanismen ergeben.

Kognition und Schlaf

Den Hinweisen, dass das Gehirn auf HF-EMF Exposition unterhalb der Grenzwerte reagieren kann, sollte nachgegangen werden. Insbesondere die Frage der gesundheitlichen Bedeutung dieser Effekte sollte abgeklärt werden. Dies stellt eine methodische Herausforderung dar und nur Studien von hoher Qualität sind



geeignet, belastbare Aussagen zu generieren. Erkenntnisse zur inter- und intraindividuellen Variabilität bzw. Reproduzierbarkeit der Effekte wären sehr hilfreich für die Beurteilung ihrer Relevanz.

Neurodegenerative Krankheiten

Aus einer Zell- und einer Tierstudie liegen Hinweise auf Einflüsse der HF-EMF-Exposition auf das Wachstum von Neuriten vor. Aufgrund der Bedeutung dieser Beobachtung für neurodegenerative Erkrankungen und kognitive Funktionen sollten diese möglichen Effekte unbedingt weiter abgeklärt werden.

Elektrohypersensibilität

Wenn es gelänge, eine Gruppe von Personen zu identifizieren, die eine spezifische Sensibilität hinsichtlich HF-EMF nachweislich aufweisen (z. B. über die verlässliche Erkennung der Exposition im Rahmen von Provokationsexperimenten), würde dies sowohl Untersuchungen bezüglich verschiedener biologischer Endpunkte vereinfachen als auch eine belastbare Beschreibung der möglichen Effekte und ihren Zusammenhang mit den jeweiligen Expositionscharakteristiken ermöglichen (FSM 2017, S. 45). Die große Heterogenität der Studienlage ist teilweise darauf zurückzuführen, dass bislang keine klaren Diagnosekriterien erarbeitet werden konnten, die für klinische Studien verwendet werden können (ANSES 2018a, S. 6). Diese Beobachtung führt die ANSES (2018a, S. 13) dazu, eine Evaluation der bisherigen Diagnosekriterien zu empfehlen. Entsprechende Studien mit elektrosensiblen Personen, die heute noch nicht vorliegen, könnten eine wissenschaftliche Grundlage schaffen und gleichzeitig das Symptombild EHS (Elektrohypersensibilität) wissenschaftlich dokumentieren (FSM 2017, S. 45). In ihrer Metastudie schlägt ANSES (2018a, S. 10–12) vor, insbesondere den möglichen Zusammenhang der Elektrosensibilität mit Schlafstörungen (Schlaf-wach-Rhythmus), Migränen sowie mit dem Persönlichkeitsmerkmal der Hochsensibilität zu untersuchen.

Synergistische Effekte

Hier stehen ältere Menschen und solche die unter chronischen Krankheiten leiden im Fokus. Möglicherweise könnte hier ein entsprechendes Monitoring helfen abzuklären, ob HF-EMF ein krankheitsverstärkender Stressor ist. Diese Möglichkeit wird durch Hinweise gestützt, dass bei HF-EMF-Exposition eine Stressreaktion auf zellulärer Ebene *in vitro* und *in vivo* stattfindet.



Anmerkungen zu Strategien der Forschungsförderung

Eine evidenzbasierte informierte gesellschaftliche und politische Diskussion in Bezug auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen von HF-EMF und die diesbezügliche Risikovorsorge (vor allem Grenzwertsetzung) ist auf die Ergebnisse der internationalen wissenschaftlichen Studien zu diesem Themengebiet angewiesen. Grundsätzlich ist bei der Forschungsförderung eine proaktive oder eine reaktive Strategie möglich (FSM 2017).

Im ersten Fall würde systematisch und kontinuierlich in Primärforschung investiert, um offene Fragen zu klären und die Risikodebatte konstruktiv voranzubringen. Die reaktive Strategie würde bedeuten, lediglich den internationalen Wissensfortschritt zu beobachten, um bei Bedarf (wissenschaftlich, politisch) entsprechende Forschungsaktivitäten zu lancieren. Es ist allerdings zu beachten, dass die in Deutschland im Zuge des DMF und seiner Nachfolgeaktivitäten aufgebauten zum Teil hochspezialisierten Forschungskapazitäten und -kompetenzen ohne einen gewissen kontinuierlichen Mittelzustrom nicht dauerhaft aufrechterhalten werden können. Trocknet die EMF-Forschungscommunity in Deutschland jedoch aus, müssten möglicherweise zu einem späte(re)n Zeitpunkt lancierte Projekte ins Ausland vergeben werden.

Bei der Forschungsförderung sollte auf jeden Fall auf höchstmögliche Qualität der vorgeschlagenen Experimente und Methoden geachtet werden. Diese – aus wissenschaftlicher Sicht selbstverständliche – Empfehlung erhält im Zusammenhang mit möglichen Gesundheitsrisiken von EMF eine erhebliche gesellschaftliche und auch wirtschaftliche Relevanz. Nur bei hoher wissenschaftlicher Qualität kann seriös geprüft werden, ob eine Wirkung kausal ist oder ein Artefakt der (mangelhaften) Anlage bzw. Durchführung der Studie. Hinzu kommt, dass es offenbar einen Zusammenhang zwischen Studienqualität und dem Nachweis von Effekten gibt: Wenn die wissenschaftliche Qualität einer Arbeit hoch ist, werden im Schnitt deutlich weniger Effektnachweise gefunden als in Arbeiten minderer Qualität (hierzu z. B. Simkó et al. 2016).

6.2 Neue Erkenntnisse aus zwei Langzeittierstudien

Nach der Fertigstellung des Gutachtens der FSM (2017) wurden Ergebnisse von zwei groß angelegten weltweit beachteten Tierstudien veröffentlicht. Im Folgenden werden die Kernergebnisse beider Studien dargestellt und die Herausforderungen der Ergebnisinterpretation in diesem Feld illustriert. Es wird aufgezeigt, wie verschiedene Expert/innen bzw. Institutionen mit jeweils plausiblen Argumenten aus denselben wissenschaftlichen Befunden unterschiedliche Handlungsnotwendigkeiten ableiten. Dies ist in vielerlei Hinsicht typisch für die Kontroversen, die das gesamte Themenfeld charakterisieren. Aus diesem Grunde und weil die Ergebnisse beider Studien zentral für die Bewertung der Karzinogenität von

HF-EMF sind, werden die Befunde, Interpretationen und Debatten rund um die beiden Langzeittierstudien hier ausführlich dargestellt.

Methodisches Vorgehen

Diese zwei Langzeitstudien wurden unabhängig voneinander jeweils in den USA und in Italien durchgeführt, mit einer vergleichsweise untypisch hohen Anzahl an Nagern und in beiden Fällen nach hohen wissenschaftlichen Standards. Die italienische Studie ist sogar die bisher größte Studie über gesundheitliche Effekte von HF-EMF auf Ratten. Die amerikanische Studie ist die umfangreichste Studie zu den gesundheitlichen Auswirkungen von EMF auf Tiere, die mit 2G- und 3G-Mobilfunksignalen exponiert wurden.⁷⁶ In beiden Studien kam man zu dem Ergebnis, dass HF-EMF krebserregend sind und ein erhöhtes Auftreten von Herz- und Hirntumoren verursachen. Für manche Expert/innen sind die dabei gewonnenen Erkenntnisse Grund genug, die IARC-Einstufung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern, die bislang als »möglicherweise krebserregend« galten, nunmehr als »krebserregend« einzustufen.

Die eine Studie wurde vom amerikanischen »National Toxicology Program« (NTP) – ein dem Ministerium für Gesundheitspflege und Soziale Dienste der Vereinigten Staaten zugeordnetes Programm – mit einem Budget von ca. 25 Mio. US-Dollar durchgeführt. Der Fokus der NTP-Studie lag auf der körpernahen Exposition durch Mobilfunkstrahlung (National Toxicology Program 2018, S. 9). Dabei wurden die Auswirkungen von EMF auf je 1.260 Ratten und Mäuse untersucht. In der Rattenstudie, deren Ergebnisse besonders diskutiert wurden, wurden Sprague-Dawley-Ratten eingesetzt, eine für ihre Empfindlichkeit bekannte Art, die häufig für die Untersuchung toxikologischer Effekte verwendet wird. Bereits im Mutterleib und nach der Geburt 2 Jahre lang wurden die Nager EMF ausgesetzt, was praktisch einer lebenslangen Exposition dieser Tiere entspricht (National Toxicology Program 2018, S. 121). Manche Tiere wurden mit 2G-Mobilfunksignalen, andere solcher mit 3G-Mobilfunksignalen (Code Division Multiple Access – CDMA) behandelt.⁷⁷ Mit 900 MHz wurden die Ratten 7 Tage die Woche, ca. 18 Stunden pro Tag on/off intermittierend in einem 10-minütigen Rhythmus am ganzen Körper exponiert. Dabei wurden sie je nach Untersuchungsgruppe SAR-Werten von 0, 1,5, 3 oder 6 W/kg ausgesetzt. Alle Tiere wurden freilaufend in Käfigen mit Metallwänden gehalten (National Toxicology Program 2018, S. 10).

76 <https://www.niehs.nih.gov/news/newsroom/releases/2018/november1/index.cfm> (24.2.2022)

77 CDMA-Signale werden primär auf dem amerikanischen Kontinent angewendet; GSM-Signale hingegen (auch) in Deutschland. In Deutschland ist das UMTS-Netz der Mobilfunkstandard der dritten Generation und ist dem CDMA-Signal ähnlich (Dürrenberger und Fröhlich 2018).



Die Studie des Ramazzini-Instituts (Falcioni et al. 2018) fokussierte die Exposition durch Fernfeldquellen. Das Forschungsteam untersuchte 2.448 Sprague-Dawley Ratten mit einem 1.835 MHz GSM- bzw. 2G-Basisstationssignal. Je 200 männliche und weibliche Tiere wurden keinen EMF, 0,001 W/kg, 0,03 W/kg, und 0,1 W/kg ausgesetzt, also niedrigeren Feldstärken als in der NTP-Studie, um eine realweltliche Exposition zu simulieren. Auch hier wurden die Tiere im Mutterleib und bis zum Ende ihres Lebens 7 Tage die Woche für eine Dauer von 19 Stunden pro Tag kontinuierlich exponiert. Die Haltungsbedingungen entsprachen den üblichen Standards (Falcioni et al. 2018, S.497).

Kernergebnisse

Im Fokus der hier zusammengefassten Diskussion sind die Befunde beider Studien zur Entwicklung von Herz- und Hirntumoren bei den männlichen Raten. Dass die Ergebnisse bei weiblichen Ratten nicht signifikant sind, kann zwar nicht erklärt werden, allerdings kommen genderspezifische Ergebnisse in ökotoxikologischen und Krebsuntersuchungen häufig vor (Melnick 2019). Bei den Herztumoren in männlichen Ratten handelt es sich um bösartige Schwannome des Herzwes, langsam wachsende Tumore der Schwannzellen, welche sich im peripheren Nervensystem im ganzen Körper befinden. Sie sind bei Ratten bösartig, bei Menschen in der Regel nicht. Bösartige Herzschnwannome fand das Forschungsteam in allen mit 2G und mit 3G exponierten Gruppen, dagegen in keinem der scheinexponierten Tiere (National Toxicology Program 2018, 10; 12). Zudem beobachtete das Team ein erhöhtes Auftreten von Schwannzellenhyperplasien – Gewebewucherung, ein Vorzeichen von Schwannomen – im Herz männlicher Ratten, die mit 1,5 und 6 W/kg bei einer 2G-Modulation, und mit 6 W/kg bei einer 3G-Modulation exponiert wurden (National Toxicology Program 2018, 10;12). Auch das Forschungsteam des Ramazzini-Instituts beobachtete ein signifikant erhöhtes Auftreten von bösartigen Schwannomen des Herzens bei männlichen Ratten, sowie leicht erhöhte Wucherungen bei einer Exposition von 0,1 W/kg (Falcioni et al. 2018, S.501).

Hirntumoren beobachteten die Autor/innen der NTP-Studie in der Form von bösartigen Gliomen (National Toxicology Program 2018, S.7). Gliome sind eine Erkrankung der Gliazellen, welche Blutgefäße und Neuronen stützen, und eine der geläufigsten Hirntumoren bei Menschen. Bösartige Gliome fanden die NTP-Forschenden in allen Expositionskategorien bei einer 2G-Modulation und in der höchsten Expositionskategorie einer 3G-Exposition, dagegen in keinem der scheinexponierten Tiere (National Toxicology Program 2018, S.122). Darüber hinaus stellte das Forschungsteam eine Erhöhung von Gliazellen-Hyperplasien bei männlichen Tieren in 5 der 6 exponierten Gruppen fest (National Toxicology Program 2018, 10;12). Zwar wurde kein statistisch signifikantes Auftreten von Gliomen in der Ramazzini-Studie beobachtet. Dennoch stellt das Team einen

Dosis-Wirkung-Zusammenhang bei der Inzidenz von Gliomen bei weiblichen Ratten fest (Falcioni et al. 2018, S. 502).

Diskussion der Ergebnisse

Statistisch signifikante Auswirkungen auf das Auftreten von Schwannomen des Herzens wurden in der NTP-Studie ausschließlich bei einer 6 W/kg Exposition unter 3G-Modulation beobachtet (National Toxicology Program 2018, S. 121), in der Ramazzini-Studie bei einer 0,1 W/kg Exposition. Das Auftreten von Gliomen erwies sich einzig in der NTP-Studie bei einer 3G-Modulation als statistisch signifikant. Wie also sind die Ergebnisse zu interpretieren?

In keiner der Kontrollgruppen der beiden Studien wurden spontane Erkrankungen des Herzgewebes oder von Gliazellen registriert. Das Auftreten eines einzigen zusätzlichen Schwannomes in der Kontrollgruppe könnte die Ergebnisse bedeutsam beeinflusst haben, argumentieren ICNIRP (2019) und ANSES (2018b): wäre eine scheinexponierte Ratte erkrankt, wären einige Befunde eventuell nicht mehr signifikant gewesen. Dies liegt daran, dass bei einer zusätzlichen Erkrankung in der Kontrollgruppe der Unterschied zwischen der Anzahl der Erkrankungen in der Kontrollgruppe und in der Expositionsgruppe kleiner wird. Allerdings überträgt man die Erkrankungsrate aus historischen Kontrollgruppen auf die Kontrollgruppe dieser Studie, war zu erwarten, dass keine bis maximal eine Ratte an Herzschnannomen in der Kontrollgruppe der NTP-Studie erkrankt (BERENIS 2018). Zudem hätte die Zahl der Erkrankungsfälle mit jeweils 5 und 6 Fällen in der höchsten Expositions-kategorie auch bei einer zusätzlichen Erkrankung in der Kontrollgruppe weiterhin deutlich höher gelegen als die historischen Erkrankungsrate (BERENIS 2018). Weiterhin erkranken Sprague-Dawley-Ratten zwar häufig spontan, entwickeln allerdings selten Gliome und Schwannome des Herzens (Melnick 2019).

Eine im Durchschnitt niedrigere Überlebensrate der scheinexponierten Ratten in der NTP-Studie kann die Ergebnisse beeinflusst haben, argumentiert weiter ICNIRP (2019). In der Tat: hätten die Ratten aus der Kontrollgruppe länger gelebt, hätten sie vielleicht auch Schwannome des Herzens und/oder Gliome entwickelt (ANSES 2018b; Dürrenberger und Fröhlich 2018). Zwar wurde diese Anomalie in der statistischen Auswertung berücksichtigt, dennoch vermutet ICNIRP (2019), dass die Effekte unterschätzt bleiben. BERENIS (2018) argumentiert hingegen, dass keine präkanzerösen Läsionen in den frühzeitig verstorbenen Tieren der Kontrollgruppe beobachtet wurden, ein Hinweis dafür, dass sie weder Herzschnannome noch Gliome entwickelt hätten, hätten sie länger gelebt.

Wenn in einer Studie viele Zusammenhänge getestet werden, ist zu erwarten, dass manche Ergebnisse zufällig statistisch signifikant sind. Daraus leitet ICNIRP (2019) ab, dass es nicht möglich sei, zu bestimmen, ob die Ergebnisse Folge der Exposition oder des Zufalls sind. Allerdings beobachtet man in Studien mit niedriger statistischer Kraft seltener Erkrankungsfälle, obwohl die Behandlung in der



Realität keinen Effekt verursacht, als keine Erkrankung, obwohl die Behandlung eigentlich gesundheitsschädlich ist (Melnick 2019).

Zusammenhänge zwischen der verabreichten Dosis und der Krebsinzidenz sind nicht immer eindeutig und stimmen zwischen den Studien nur teilweise überein. Wird ein Zusammenhang zwischen der verabreichten Dosis und den beobachteten gesundheitlichen Auswirkungen festgestellt, ist dies ein Hinweis dafür, dass die Effekte auf die Behandlung zurückzuführen sind. Solche Dosis-Wirkung-Zusammenhänge wurden in einzelnen Untersuchungsgruppen beobachtet. Während BERENIS (2018) einen Dosis-abhängigen Trend in Bezug auf eine Zunahme der Karzinogenität von Schwannomen und Gliomen in den Befunden erkennt, sind diese Dosis-Wirkung-Zusammenhänge aus der Perspektive der für Fragen der Ernährung und Medikamente zuständigen amerikanischen Behörde (U.S. Food and Drug Administration 01.11.2018) nicht eindeutig. Zudem zeigen diese Trends keine Konsistenz zwischen den beiden Studien (Dürrenberger und Fröhlich 2018): Während Falcioni et al. (2018) signifikante Ergebnisse bei einer Exposition von 0,1 W/kg feststellen, sind die Ergebnisse der NTP-Studie erst in der höchsten Expositionskategorie von 6 W/kg signifikant, beobachtet ICNIRP (2019). Darüber hinaus lassen sich viele Beobachtungen (z. B. Unterschiede zwischen 2G und 3G) nicht mit bekannten physio-biologischen Mechanismen erklären (ANSES 2018b). Allerdings waren für die meisten anderen Evaluationsstudien des NTP, welche die Karzinogenität einer Substanz nachgewiesen haben, keine verifizierten Wirkmechanismen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung identifiziert worden. Dies ist also keine Anforderung für die Anerkennung der Karzinogenität einer Substanz (Melnick 2020, S. 679).

Es wird diskutiert, ob die hohen Expositionsniveaus in der NTP-Studie thermische Effekte verursacht haben könnten. Um das Auftreten thermischer Effekte auszuschließen, wurden auf einer Vorstudie beruhend Expositionsniveaus gewählt, auf welchen kein Temperaturanstieg über 1 °C beobachtet wurde. Da nicht bekannt ist, dass Auswirkungen solch geringer Temperaturanstiege die Tumorzinzidenz beeinflussen, kann davon ausgegangen werden, dass die Tumorzinzidenz mit thermischen Effekten nicht zusammenhängt (BERENIS 2018). ANSES (2018b) und ICNIRP (2019) werfen dem Forschungsteam vor, die Körpertemperatur der Tiere in der Kurzzeitstudie nicht präzise gemessen und während des Experiments in keiner der beiden Studien kontrolliert zu haben. Daher könne nicht ausgeschlossen werden, dass die erhöhte Krebsinzidenz auf thermische Effekte zurückzuführen ist (ICNIRP 2019; ANSES 2018c; Dürrenberger und Fröhlich 2018). Weitere Indikatoren der NTP-Studie (Körpergewicht, klinische Beobachtungen) sprechen allerdings eher dafür, dass die Tiere die Exposition gut toleriert haben (Melnick 2020, S. 680).

Übertragbarkeit der Befunde auf die menschliche Gesundheit

Üblich in toxikologischen Studien ist es, höhere Dosen zu verabreichen, um biologische und physiologische Effekte zu verdeutlichen (BERENIS 2018). Allerdings spiegelten somit die experimentalen Bedingungen und insbesondere im Fall der NTP-Studie die Intensität der Exposition eine gewöhnliche menschliche Exposition im Alltag nicht wider (ICNIRP 2019; BfS 2019b). Die Höhe der Exposition sei 75-mal höher als die von der ICRNIRP empfohlenen maximalen Grenzwerte für Ganzkörperexpositionen, und 3-mal höher als die für lokale Exposition empfohlenen Grenzwerte (ICNIRP 2019). Darüber hinaus wurden die Tiere Ganzkörperexposition ausgesetzt, obgleich lokale und Ganzkörperexposition ganz unterschiedliche Effekte hervorrufen können (ICNIRP 2019). Dies erschwere oder hindere gar eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die menschliche Gesundheit (ICNIRP 2019; U.S. Food and Drug Administration 01.11.2018; ANSES 2018c; Dürrenberger und Fröhlich 2018). Daraus schließt ICNIRP (2019), dass nur die Ergebnisse der Ramazzini-Studie direkt relevant seien, BERENIS (2018), dass die Ergebnisse der NTP-Studie vor allem für die körpernahe Exposition relevant seien (BERENIS 2018). Dieser Ansicht ist auch Melnick (2019) und argumentiert, dass die tatsächliche lokale Exposition des Rattenhirns während des Experiments einer Exposition des Menschengehirns durch Mobiltelefonnutzung ähnelt. Demnach seien die Ergebnisse zum Verständnis der Karzinogenität der Mobiltelefonnutzung durchaus relevant.

Zwar treten Herz-Schwannome bei Menschen selten auf (ICNIRP 2019), dennoch argumentiert das italienische Team, dass die Ergebnisse beider Studien mit Befunden epidemiologischer Studien korrespondieren, in welchen Vestibularis-Schwannome – auch Akustikusneurinomen genannt, eine Erkrankung des Hör- und Gleichgewichtsnerfs – mit einer intensiven Mobiltelefonnutzung in Zusammenhang gebracht wurden (National Toxicology Program 2018, S. 125; Falcioni et al. 2018, S. 502).⁷⁸ Dies liegt daran, dass Schwannome des Herzens und Gliome in derselben Art von Zellen wie Vestibularis-Schwannom entstehen (National Toxicology Program 2018, S. 125). Diese Hypothese setzt voraus, dass die Karzinogenität von EMF nicht organspezifisch ist, was aus den vorliegenden Befunden nicht bestätigt werden kann (National Toxicology Program 2018, S. 122). Sind die Tumoren organspezifisch, bemängelt ANSES (2018d) eine Erläuterung der zugrundeliegenden Wirkmechanismen. Darüber hinaus ist die Absorption von EMF bei Menschen ganz anders als bei Ratten und Mäusen aufgrund ihrer unterschiedlichen Körpergeometrie (Dürrenberger und Fröhlich 2018; ANSES 2018b). Dass keine Effekte bei Mäusen beobachtet wurden, erschwerte die Verallgemeinerbarkeit der Befunde über die Spezies hinaus (ICNIRP 2019). Das NTP-Forschungsteam sieht in den eigenen Ergebnissen einen Hinweis für eine

⁷⁸ Die betroffenen Schwannzellen sind integrativer Teil des Nervensystems und a priori in allen Organen gleich.



mögliche Assoziation zwischen Mobiltelefonnutzung und Akustikusneurinomen. Die molekularen Wirkmechanismen sollten daher weiter erforscht werden, schlussfolgern die Wissenschaftler/innen im technischen Bericht (National Toxicology Program 2018, S. 125). Seitdem wertete das Forschungsteam neue Daten aus und stellte DNA-Schäden im Gehirn von Ratten und Mäusen fest, die den EMF ausgesetzt wurden. Zudem identifizierte das Team einen Zusammenhang zwischen der Exposition und einer bedeutsamen Erhöhung der DNA-Schäden.⁷⁹ DNA-Schäden könnten ggf. auf oxidativen Stress zurückzuführen sein (Melnick 2020, S. 679). In einer Bewertung der wissenschaftlichen Literatur zum möglichen Zusammenhang zwischen EMF und oxidativem Stress schreibt BERENIS⁸⁰, dass eine erhöhte Inzidenz von reaktiven Sauerstoffverbindungen (ROS), eine Überlastung und Erschöpfung der antioxidativen Schutzmechanismen und Schädigung von DNA bei einer EMF-Exposition über mehrere Wochen oder Monate, aber auch für wenige Stunden beobachtet wurden, dies bei unterschiedlichen Frequenzen und Dosis, teilweise bereits bei Expositionen unter den gesetzlichen SAR-Grenzwerten.⁸¹

Einordnung der Befunde für das politische Handeln

Ein vom NTP einberufenes Gutachter-Panel bewertete die im Februar 2018 vorliegenden Befunde der NTP-Studie und kam zu dem Schluss, dass eindeutige Hinweise (»clear evidence«) zu den Auswirkungen von HF-EMF auf das Auftreten von Herz-Schwannomen bei männlichen Ratten des untersuchten Stamms und einige Hinweise (»some evidence«) auf ihre Auswirkungen auf die Entwicklung von Hirntumoren für beide Modulationen vorliegen. Einige Hinweise wurden ebenso für Tumoren des Nebennierenmarks (Phäochromozytom) bei einer GSM-Modulation festgestellt. Weitere Inzidenzen wurden als nicht eindeutig (»equivocal«) eingestuft (National Toxicology Program 2018, S. L-38 f.). Das italienische Team schlussfolgert, dass ihre eigenen Befunde die NTP-Ergebnisse bekräftigen und ausreichend sind, um die IARC-Einstufung von EMF zu überprüfen (Falcioni et al. 2018).

Von den Befunden ausgehend kommen Wissenschaftler/innen sowie Expertengremien zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen bezüglich der Notwendigkeit, die Einstufung von EMF und die maximalen Grenzwerte zu überprüfen. Für Dürrenberger und Fröhlich (2018) liefern die beiden Studien erneut »Verdachtsmomente« aber keine eindeutigen Hinweise, dass Mobilfunkstrahlung negative gesundheitliche Effekte verursacht. Hingegen argumentieren Hardell und Carlberg (2019), dass der Hauptgrund für die Einstufung von HF-EMF als

79 <https://ntp.niehs.nih.gov/whatwestudy/topics/cellphones/index.html> (31.5.2021)

80 https://nejtil5g.dk/wp-content/uploads/2021/02/newsletter_berenis_sonderausgabe_januar_2021-1.pdf (24.2.2022)

81 https://nejtil5g.dk/wp-content/uploads/2021/02/newsletter_berenis_sonderausgabe_januar_2021-1.pdf (24.2.2022)

»möglicherweise krebserregend« und nicht als »krebserregend« an den mangelnden Erkenntnissen aus Tierstudien lag. Diese NTP- und Ramazzini-Studien wurden explizit beauftragt, um diese Wissenslücke zu schließen. Zu diesen beiden gesundheitlichen Folgen wurden statistisch signifikante Ergebnisse vorgelegt und somit neue relevante Erkenntnisse generiert.

Die für Fragen der Ernährung und Medikamente zuständige amerikanische FDA, im Auftrag derer die NTP-Studie durchgeführt wurde, die Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) sowie das deutsche Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) kommen zu dem Schluss, dass die neue Evidenzlage keinen Beweis für ein erhöhtes Krebsrisiko für Menschen bei einer Exposition unterhalb der Grenzwerte durch Mobiltelefonnutzung darstelle (ICNIRP 2019; BfS 2019b; U.S. Food and Drug Administration 01.11.2018). Aus Sicht des BfS (2019b) sind die Befunde als »Hinweise« für die Karzinogenität von Mobilfunk bei einer Exposition deutlich oberhalb der Grenzwerte zu bewerten. Die französische Agentur ANSES hat die Methodologie und Befunde analysiert und diskutiert (ANSES 2018b, 2018c). Vor dem Hintergrund der Ergebnisse der NTP- und anderer Studien schlussfolgert die ANSES (2019, S. 12), dass die Studien keine Schlüsse hinsichtlich der Karzinogenität von HF-EMF zulassen. Für das schweizerische Expertengremium BERENIS (2018) sollen diese Hinweise im Kontext anderer verfügbarer Studien berücksichtigt werden, um abzuschätzen, ob die Grenzwerte geändert werden sollen. Bis dahin unterstützt BERENIS das Vorsorgeprinzip. Auch gerichtlich hat die Evidenzlage Folgewirkungen: 2020 bestätigte die Berufungsinstanz in Turin die Entscheidung eines Gerichts, welches einen Zusammenhang zwischen dem Akustikusneurinom des Klägers und seiner beruflichen frequenten Nutzung eines Mobiltelefons 2017 erkannte.⁸²

6.3 Auswirkungen von HF-EMF speziell bei Kindern und Jugendlichen

Aus der weltweit umfangreichsten thematisch spezialisierten Literaturdatenbank des EMF-Portals (mit 2019 etwa 28.500 Einträgen) wurden sämtliche wissenschaftlichen Mindestanforderungen an die Studienqualität entsprechenden Veröffentlichungen zum Thema extrahiert. Diese 36 epidemiologischen und 12 experimentellen Studien zu Kindern und Jugendlichen sowie eine epidemiologische Studie zu älteren Menschen wurden von den Gutachter/innen des femu (2019) im Hinblick auf die biologischen und gesundheitlichen Folgen von HF-EMF kabelloser Kommunikationsgeräte (Mobilfunk, Schnurlostelefon, WLAN, Bluetooth etc.) systematisch analysiert und bewertet. In 34 Studien wurde die Nutzung eines

⁸² <https://www.theguardian.com/world/2020/jan/15/mobile-phones-cause-tumours-italian-court-rules-defiance-evidence> (31.5.2021)



Mobiltelefons untersucht, in 2 Studien die Exposition bei Mobilfunkbasisstationen und 13 Studien untersuchten die Nutzung eines Mobiltelefons zusammen mit der Exposition z. B. bei Basisstationen, Fernseh- und Rundfunksendern.

In 17 Studien fanden sich Hinweise auf verschiedene Wirkungen. In den epidemiologischen Studien wurden am häufigsten Auffälligkeiten im Verhalten beschrieben, insbesondere bei Kindern, die selbst telefonierten oder die während der Schwangerschaft in utero exponiert waren. Darüber hinaus gaben Kinder und Jugendliche gesundheitliche Beschwerden (Kopfschmerzen, Müdigkeit etc.) an, wenn sie mit dem Handy telefonierten. Ebenso wurden Wirkungen auf die Kognition bei Jugendlichen gefunden. In den experimentellen Studien gab es einzelne Hinweise auf Veränderungen der Hirnaktivität, des Hautwiderstands und eine Beeinträchtigung der kognitiven Leistungsfähigkeit.

Insgesamt wird die Evidenz für Wirkungen von Mobilfunk auf die Kognition, das Verhalten und subjektive Beschwerden bei Kindern und Jugendlichen als gering eingestuft. Für Wirkungen auf die frühkindliche Entwicklung, Krebs und physiologische Parameter ist die Datenlage unzureichend, um eine Schlussfolgerung über etwaige Wirkungen abzuleiten. Es kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob Kinder und Jugendliche empfindlicher auf eine Mobilfunkexposition reagieren als Erwachsene. Zu den möglichen Wirkungen auf ältere Menschen können auf Basis einer einzelnen Studie keine Schlussfolgerungen gezogen werden.

Forschungsaktivitäten und Forschungsbedarf

Schon vor beinahe 15 Jahren formulierte die WHO (2006b) einen hohen Forschungsbedarf (High Priority) zur Abschätzung der Wirkungen einer Mobiltelefonnutzung auf Kinder. Insbesondere schlug sie die Durchführung einer multinationalen Fallkontrollstudie zum Risiko für Hirntumor vor sowie eine prospektive Kohortenstudie zu allgemeinen gesundheitlichen Wirkungen (z.B. Kognition und Schlafqualität).

Zum Risiko für die Entstehung eines Hirntumors durch Mobiltelefonnutzung wurden seitdem zwei multinationale Fallkontrollstudien durchgeführt, die dieser Empfehlung gefolgt sind.⁸³ Die CEFALO-Studie wurde in Dänemark, Norwegen, Schweden und der Schweiz zwischen 2004 und 2008 durchgeführt, um das Hirntumorrisiko bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 7 bis 19 Jahren im Zusammenhang mit der Mobiltelefonnutzung zu untersuchen. Aufgrund des Einschlusses von 19 Jahre alten Jugendlichen wurde diese Studie im vorliegenden Review nicht berücksichtigt. In dieser Studie mit insgesamt 352 Kindern und Jugendlichen mit einem Hirntumor sowie 646 Kindern und Jugendlichen in der Kontrollgruppe fanden Aydin et al. (2011b) keinen Zusammenhang zwischen einer Mobiltelefonnutzung und dem Risiko für Hirntumor. Im Rahmen der MOBI-

83 <https://cordis.europa.eu/project/rcn/89894/reporting/en> (1.10.2020)

KIDS-Studie wurden zwischen 2011 und 2016 in 14 Ländern fast 1.000 junge Menschen im Alter von 10 bis 24 Jahren mit einem Hirntumor und rund 1.900 Personen in der Kontrollgruppe ohne Hirntumor untersucht (Turner et al. 2019). Die Veröffentlichung der Ergebnisse steht bis dato (Ende 2020) noch immer aus.

Weiterhin empfahl die WHO (2010) die Durchführung von prospektiven Kohortenstudien mit Kindern und Jugendlichen im Hinblick auf die Mobiltelefonnutzung, insbesondere in Bezug auf neurologische und Krebserkrankungen sowie Wirkungen auf das Verhalten. Dies könnte beispielsweise in den bestehenden großen Mutter-Kind-Kohortenstudien durch Erhebung von prospektiven Daten zur HF-EMF-Exposition erfolgen. Dabei wurde ein Bedarf gesehen, in zukünftigen Studien die unterschiedlichen Technologien und Nutzungsgewohnheiten (z.B. Nutzung von Notebooks) mit zu berücksichtigen. Darüber hinaus wurde (wie auch schon 2006) ebenfalls ein dringender Bedarf darin gesehen, im Rahmen von experimentellen Studien akute Wirkungen von Mobilfunk auf die Kognition und das EEG bei Kindern und Jugendlichen unterschiedlicher Altersklassen, insbesondere bei jüngeren Kindern, zu untersuchen. Alle diese WHO-Empfehlungen haben immer noch Bestand und sind Teil der EMF-Forschungsagenda⁸⁴ zu Kindern.

Im Rahmen des systematischen gutachterlichen Reviews für den vorliegenden TAB-Bericht konnte seit den WHO-Empfehlungen zwar eine Zunahme des Forschungsinteresses im Bereich der Wirkungen von Mobilfunk auf Kinder und Jugendliche verzeichnet werden, jedoch eher in der Epidemiologie und weniger bei experimentellen Studien. Der größte Teil der Studien zu Kindern und Jugendlichen wurde nach 2010 veröffentlicht (n = 40; 83 %), davon waren 33 epidemiologische und sieben experimentelle Studien. Im Bereich der Epidemiologie wurden aufgrund der WHO-Empfehlung verschiedene Projekte (z.B. HERMES- und ExPOSURE-Studie) speziell zum Thema Mobilfunk und Kinder initiiert oder ergänzende Untersuchungen in bereits laufenden Kohortenstudien (z.B. DNBC, GERoNiMO) vorgenommen. Bei experimentellen Studien war die Zunahme mit sieben Publikationen seit 2010 weniger deutlich, aber auch dort bezogen sich einige Autoren explizit auf die WHO-Empfehlungen als Motivation für die durchgeführten Untersuchungen (Choi et al. 2014; Croft et al. 2010; Leung et al. 2011; Loughran et al. 2013).

Die deutlich größere Anzahl an epidemiologischen Studien im Vergleich zu experimentellen Studien ist insofern bemerkenswert, als diese oftmals ungleich kosten- und zeitintensiver sind. Experimentelle Studien können zudem aufgrund der Möglichkeit der Standardisierung der Expositions- und Untersuchungsbedingungen für die Erforschung akuter Wirkungen validere Ergebnisse liefern. Ein Grund dafür, dass es hier offensichtlich nicht zu einem nennenswerten Anstieg der Forschungsaktivitäten seit 2010 gekommen ist, könnte darin liegen, dass es aus ethischen Gründen nur begrenzte Möglichkeiten gibt, mit Kindern Versuche

84 <https://www.who.int/peh-emf/research/children/en/index4.html> (1.10.2020)



durchzuführen – die Untersuchungen könnten deshalb prinzipiell in ihrer Aussagekraft eingeschränkt sein.

Notwendige Studien

Da es aufgrund der inkonsistenten Datenlage, der geringen Anzahl der experimentellen Studien insgesamt ($n = 12$), den relativ kleinen Teilnehmerzahlen in den einzelnen Studien (15 bis 60 Teilnehmende) und der durchwachsenen Studienqualität nicht möglich war, eine Einschätzung zu den akuten Wirkungen von HF-EMF von Mobilfunk auf Kinder und Jugendliche abzuleiten, bleibt die berechtigte Forderung der WHO nach qualitativ hochwertigen Provokationsstudien zu den Wirkungen auf das Nervensystem (EEG, Kognition) bestehen. Zukünftige Studien sollten größere Gruppen an Kindern und Jugendlichen und unterschiedliche Altersklassen berücksichtigen. Nur so kann abgeklärt werden, ob die in einigen Studien gefundenen Wirkungen (Krause et al. 2006; Leung et al. 2011; Movvahedi et al. 2014) bestätigt werden können.

Abzuwarten bleibt die Veröffentlichung der Ergebnisse aus der MOBI-KIDS-Studie, um danach abschätzen zu können, ob in ihr die Forderung der WHO (2010) nach einer Fallkontrollstudie zu Hirntumor mit einer verbesserten Expositionsabschätzung erfüllt wurde, und auch, ob Hinweise auf ein erhöhtes Hirntumorrisiko gefunden wurden. Auch in Zukunft sollte dieses Tumorrisiko bei Kindern und Jugendlichen mit Mobiltelefonnutzung weiter untersucht werden. Allerdings könnte die Durchführung von weiteren Fallkontrollstudien aufgrund der Tatsache, dass heutzutage fast alle Kinder und Jugendlichen ein Mobiltelefon nutzen und zugleich eine entsprechende Vergleichsgruppe für die Exposition (d.h. ohne Exposition) nicht mehr zur Verfügung steht, in Zukunft nur noch sehr begrenzt oder gar nicht mehr möglich sein.

Empfehlenswert wäre deswegen, in zukünftigen Trendstudien zur Inzidenz von Hirntumor die Altersklassen von Kindern und Jugendlichen gesondert zu berücksichtigen, um hier ggf. Hinweise zu einem erhöhten Risiko für Hirntumore bei Kindern und Jugendlichen zu erhalten. Da die Ergebnisse der in diesen für den TAB-Bericht erstellten gutachterlichen Review eingeschlossenen epidemiologischen Studien zu Verhaltensauffälligkeiten, kognitiven Fähigkeiten und gesundheitlichen Beschwerden inkonsistent waren und eine geringe Evidenz für entsprechende Wirkungen lieferten, sollten die Ergebnisse in Kohortenstudien mit objektiver prospektiver Expositionsbestimmung überprüft werden.

6.4 Exkurs 5G

5G ist zunächst ein Sammelbegriff für ein Bündel unterschiedlicher technologischer Innovationen, die mehr oder weniger für dieselben Frequenzbereiche verwendet werden, die schon jetzt umfassend genutzt werden, wie auch für die

Nutzung deutlich höherer Frequenzbereiche (aber auch spezieller Datenübertragungstechniken, unterschiedliche Anwendungsgebiete wie etwa Mobiltelefonie, Industrie 4.0, Cloud Gaming, Internet of Things, selbstfahrende Autos etc.). 5G ist somit nicht über ein einziges Expositionsszenario abzubilden. Dies macht auch die Zuordnung möglicher Evidenzen schwierig und entsprechend ist die bis dato dokumentierte Evidenzlage zu den Wirkungen von 5G noch immer äußerst dürftig. Das ITA (2020, S. 101 ff.) listet in seinem Bericht auf Grundlage einer systematischen Suche nach Reviews zu 5G nur sechs (englische) klassifizierte Publikationen in Fachzeitschriften auf, in denen sich mit gesundheitlichen Risikohypothesen und Wissenslücken befasst wurde.

Welche Anwendungen der 5G-Technologie wann und in welchen Frequenzbereichen zur Anwendung kommen (werden), ist noch nicht klar. Welche Art des Ausbaus letztendlich (sowohl in Deutschland als auch weltweit) erfolgen soll, ist nicht sicher: Wird etwa eine flächendeckende Versorgung über Sendestationen angestrebt oder geht es stärker um einen jeweiligen standortspezifischen Ausbau (im Sinne von Industrie 4.0)? Je nach Ausbaustufe oder Anwendungsbereich entstehen ganz unterschiedliche Expositionsszenarien, und dies hat bzw. hätte zukünftig durchaus Einfluss auf Abschätzung und Beurteilung möglicher Auswirkungen bzw. Risiken. Aktuell allerdings sucht man z. B. in der Fachliteratur zu Gesundheitsrisiken nichtionisierender Strahlung den Begriff 5G teils vergeblich. Er ist insbesondere für die Risikoforschung ganz offensichtlich zu unpräzise. Und in wissenschaftlichen Fachdiskussionen etwa wird 5G häufig nur (verkürzend) mit bestimmten höheren Frequenzbereichen gleichgesetzt (z. B. Millimeterwellen, Sub-THz-Bereich, Ultrahochfrequenz). In der öffentlichen Debatte um mögliche gesundheitliche Risiken scheint es wiederum vielfach um ungelöste Kontroversen um die bestehende Expositionssituation und deren mutmaßliche Verstärkung zu gehen (ITA 2020, S. 22 ff.).

6.4.1 Produkte und Anwendungen

In Deutschland werden in der 5G-Strategie der Bundesregierung aktuell drei zentrale Anwendungsgruppen für 5G identifiziert, die sich an die von der Internationalen Fernmeldeunion erarbeiteten Nutzungsszenarien anlehnen (Radiocommunication Sector of ITU (ITU-R) 2015, 11 f.):

- *Enhanced Mobile Broadband*, d. h. eine verbesserte mobile Breitbandverbindung, um Mobilgeräte mit möglichst hohen Datenraten zu versorgen
- *Massive Machine Type Communications*, d. h. die Kommunikation einer großen Anzahl von Geräten untereinander, wie sie vor allem für Anwendungen aus dem Bereich »Internet der Dinge« genutzt werden.
- *Ultra-Reliable and Low Latency Communications*, d. h. Kommunikation mit hoher Verlässlichkeit und geringer Latenz, die etwa bei hochautomatisierten und vernetzten Fahrzeugen benötigt werden.

In der Abbildung 6.1 werden diese Anwendungsgruppen charakterisiert und mit Beispielen unterlegt.

Abb. 6.1 Anwendungsgruppen für 5G



Quelle: nach Bundesregierung 2017, S. 5

6.4.2 Verbreitung und Trends

Der erste Sendemast mit 5G-Technik als Testinstallationen wurde in Deutschland Ende 2018 errichtet⁸⁵. Im Zuge einer Auktion im Frühjahr 2019 wurden Frequenzen im Bereich 2 GHz und 3,6 GHz an die vier Netzanbieter zugeteilt. Ab Juli 2019 erfolgte der kommerzielle Start an einigen Orten (etwa in Köln, Düsseldorf, Hamburg, Dortmund und München, aber auch in Birgland (Bayern), Lohmar (Nordrhein-Westfalen) und Hattstedt (Nordfriesland)) (Krzossa 2019). Die Frequenzvergabe erfolgte unter der Auflage, dass bis Ende 2022 mindestens 98% der Haushalte je Bundesland mit mindestens 100 Mbit/s versorgt werden. Dabei müssen mindestens 1.000 5G-Basisstationen errichtet werden (BNetzA 2018e). Auch auf Seiten der Endgeräte hat der Markthochlauf begonnen. Viele Hersteller von Smartphones bieten inzwischen 5G-fähige Modelle an, die meist im hochpreisigen Segment von um die 1.000 Euro angesiedelt sind⁸⁶.

6.4.3 Technische Daten

Im ersten Ausbauschnitt der öffentlichen 5G-Mobilfunknetze werden Frequenzbereiche genutzt, die bereits heute für den Mobilfunk genutzt werden (2 GHz), die solchen Bereichen benachbart (700 MHz) bzw. die für vergleichbare

⁸⁵ <https://winfuture.de/news,105893.html> (1.10.2020)

⁸⁶ <https://www.5g-anbieter.info/smartphones/> (1.10.2020)

Nutzungen vergeben sind (3,6 GHz). Das Frequenzband von 3,7 bis 3,8 GHz soll örtlichen nichtöffentlichen Mobilfunknetzen vorbehalten sein (z. B. für Anwendungen in Land- und Forstwirtschaft, Wirtschaft und Industrie sowie zur Verbesserung der ländlichen Mobilfunkversorgung). Bezüglich Sendeleistung und anderer technischer Parameter unterscheidet sich die Nutzung dieser Frequenzbereiche für 5G nicht prinzipiell von den bekannten Mobilfunknutzungen. Als weiterer Ausbauschritt ist die Nutzung von Bändern im höheren Frequenzbereich (Millimeterwellen) geplant (26 GHz, 40 GHz bis zu 86 GHz). In Deutschland ist u. a. der Bereich von 24,25 bis 27,5 GHz für Kleinzellennetze oder für die Anbindungen von Basisstationen mit Richtfunkstrecken, also stark gerichteten Funkverbindungen zwischen zwei Stationen, vorgesehen (BMU 2019).

Eine technische Neuerung wird durch innovative Antennentechnik (massive Multiple Input Multiple Output – MIMO) möglich. Dabei werden bis zu 256 einzelne Antennensegmente zusammengeschaltet. Damit kann Strahlungsleistung zielgenauer in bestimmte Richtungen abgegeben werden (Beam Forming). Dies wird vor allem in höheren Frequenzbereichen (Millimeterwellen) eingesetzt werden (BfS 2019a). Detailliertere Angaben sind an dieser Stelle nicht möglich, weder die Netztopologien noch die technischen Spezifikationen der Basisstationen und der Endgeräte für 5G abschließend festgelegt sind.

6.4.4 Exposition

Wie sich die Exposition der Bevölkerung mit HF-EMF durch die Einführung von 5G verändern wird, ist derzeit kaum abzusehen. Zumindest anfänglich ist von einer erhöhten Gesamtexposition durch Mobilfunkwellen auszugehen, da 5G parallel zur alten Infrastruktur betrieben werden wird. Wenn später die Infrastruktur der älteren Funkstandards (GSM, UMTS, LTE) ggf. obsolet geworden ist und zurückgebaut wird, könnte die Exposition auf ein ähnliches Niveau wie heute zurückgehen (Lewicki 2017). Bei UMTS (3G) ist der Rückbau bereits im Gange. Bis 2022 soll dieser Mobilfunkstandard vom Markt verschwinden (Hayon 2020). Die Einführung von 5G geschieht auf Frequenzbändern, die bereits früher für Mobilfunk- und andere Anwendungen genutzt wurden (bei 700 MHz, 2 GHz und 3,6 GHz). Die Sendeleistung von 5G-Basisstationen werden in etwa der gleichen Größenordnung erwartet wie bei 4G (BMU 2019).

Wie sich die Charakteristika, in denen sich 5G von den älteren Funkstandards unterscheiden, auf die Exposition auswirkt, ist derzeit schwer abschätzbar. Das betrifft insbesondere eine Netztopologie aus kleinräumigeren Funkzellen bzw. die Technologie des Beam Forming. Für einen Anstieg der Exposition spricht, dass bei kleineren Funkzellen Basisstationen ggf. näher an Orten betrieben werden, an denen Menschen sich aufhalten. Außerdem wird durch das Beam Forming eine höhere EMF-Intensität in der Bündelungsrichtung erzeugt. Es ist aber auch eine Verringerung der Exposition möglich, da bei kleineren Zellen die



Sendeleistung geringer ausfallen kann. Beam Forming hingegen zielt darauf ab, die Strahlungsleistung auf diejenigen räumlichen Bereiche zu konzentrieren, in denen sie tatsächlich genutzt wird. Personen, die sich nicht in diesen Bereichen aufhalten, werden somit weniger stark exponiert. Insgesamt wird erwartet, dass dadurch die Streubreite möglicher Expositionen zunehmen wird. Vieles wird davon abhängen, wie die 5G-Netze letztlich konfiguriert und genutzt werden. Daher begleitet das Bundesamt für Strahlenschutz deren Auf- und Ausbau mit Forschungsvorhaben zur Feldverteilung (BMU 2019).

»Bei der Frage, welcher Anteil der Energie eines hochfrequenten Feldes im Körpergewebe in Wärme umgewandelt und damit absorbiert wird, spielen die Frequenz und die Stärke des Feldes sowie die Zusammensetzung des Körpergewebes (Wasser-, Fett-, Protein- und Salzgehalt) eine wichtige Rolle. Je höher die Frequenz eines EMF ist, umso stärker wird es an der Körperoberfläche absorbiert, d. h., je höher die Frequenz des elektromagnetischen Feldes ist, desto kürzer ist die Strecke, die das Feld in den Körper eindringen kann. Konkret definiert ist die relative Eindringtiefe als jene Wegstrecke, nach der ein elektromagnetisches Feld beim Eindringen in das Gewebe nur noch 37 % seiner Ausgangs-Feldstärke besitzt. Die absolute Eindringtiefe, d. h., wie tief das Feld in einen Körper eindringen kann, hängt jedoch auch von der Ausgangs-Feldstärke ab. Bei hoher Ausgangs-Feldstärke ist die absolute Eindringtiefe grundsätzlich größer als bei kleiner Ausgangs-Feldstärke. Die durchschnittliche Eindringtiefe der Felder liegt z. B. im Fall von Muskelgewebe im unteren GHz-Bereich (Frequenzbereich 0,5 bis 2,5 GHz, in dem u. a. Mobilfunk und Mikrowellenherd betrieben werden) bei etwa 1,5 bis 0,5 cm und oberhalb von 10 GHz nur noch bei 0,2 mm und weniger.«⁸⁷

6.4.5 Mögliche gesundheitliche Wirkungen

Da die im Einführungsschritt von 5G verwendeten Frequenzbänder (700 MHz, 2 GHz und 3,6 GHz) bereits heute für Mobilfunk- und andere Anwendungen genutzt werden, können die aktuellen Erkenntnisse zu möglichen biologischen bzw. gesundheitlichen Wirkungen von Mobilfunkfeldern analog auf 5G übertragen werden.

Anders gelagert ist der Fall der perspektivisch vorgesehenen Nutzung von hochfrequenten (bis zu etwa 25 GHz) Millimeterwellen. Diese werden bisher hauptsächlich für Anwendungen wie Radargeräte oder Körperscanner eingesetzt. Im Gegensatz zu den bisher genutzten Frequenzbereichen dringen Millimeterwellen kaum in den Körper ein, sondern werden vollständig in den obersten Hautschichten absorbiert (siehe Kasten). Hinzu kommt, dass für die Absorption von herkömmlichen Frequenzen im Körper Gewebe als quasi homogene Medien

⁸⁷ www.emf-portal.org/de/cms/page/home/effects/radio-frequency; 1.10.2020)

angenommen werden können. Für Millimeterwellen hingegen sind kleinste Strukturen sichtbar, etwa Schweißdrüsen in der Haut. Welche biologischen bzw. gesundheitlichen Effekte dies auslösen könnte, ist bislang noch wenig erforscht (Betzalet et al. 2017; Betzalet et al. 2018).

Auch der Bericht des ITA (2020) kommt nach Sichtung und Auswertung der bislang sehr wenigen wissenschaftlichen Studien zum Thema 5G zu der Erkenntnis, dass sowohl Reviews wie auch Einzelstudien noch wenig zu möglichen Gesundheitseffekten von 5G aussagen. Fast immer wird allein auf die mit 5G absehbar im Mobilfunk eingesetzten höheren Frequenzbereiche Bezug genommen oder auf die daraus weiter verstärkte Mischexpositionen durch unterschiedlich charakterisierte elektromagnetische Felder. »Die wissenschaftliche Diskussion geht hier in Richtung spezifischer Wirkorte und Wirkmechanismen und in Richtung einer gegenwärtig äußerst unzulänglichen Studienlage (ITA 2020, S. 107)«.

Auch gibt es bis dato nur sehr wenige Befassungen und Aussagen von institutioneller, behördlicher bzw. staatlichen Stellen zum Thema 5G. Einzig die schwedische Strahlenschutzbehörde verweist in ihren jährlichen Sachstandsberichten 2019 (SSM 2019) erstmals explizit auf 5G und berücksichtigt auch erste diesbezügliche Reviews. Sie trifft in ihrem Berichtsvorwort (o. S.) die Aussage, dass es »trotz eines Mangels an bekannten Mechanismen, über die die menschliche Gesundheit durch schwache EMF-Exposition beeinflusst werden könnte, [...] einen Bedarf an zusätzlicher Forschung, die die neuen Frequenzbereiche abdeckt« gäbe. Das Gremium ruft dazu auf, zukunftsorientierte epidemiologische Studien, wie etwa Kohortenstudien, in diesem Themenbereich zu starten. Zugleich ist aber auch klar, dass der Mangel an epidemiologischen Studien erst nach einem breiteren Einsatz von 5G-Mobilfunk behoben werden kann. Und »der Mangel an epidemiologischen Langzeitstudien, wie sie für die Überprüfung von Karzinogenität beim Menschen zentral sind, ist prinzipiell erst 10 bis 40 Jahre nach Beginn des Einsatzes behebbar« (Kastenhofer et al. 2020, S. 114).

Insgesamt ist zum momentanen Zeitpunkt zu konstatieren, dass bezüglich der Gesundheitsrisiken von 5G der Faktor Zeit wesentlich ist: Denn solange es noch keine realen oder wesentlichen Expositionen gibt, können auch keine epidemiologischen Daten zu Rate gezogen werden. Zudem gibt es auch noch keine gezielten Laborstudien – auch deshalb, weil dafür die realen Expositionssituationen von 5G noch fehlen. Entsprechend wäre eine Aussage, dass 5G ganz sicher keine Gesundheitsrisiken mit sich bringt, verfrüht bzw. so nicht angebracht. So wird auch von den allermeisten Expert/innen anerkannt, dass es zum einen an gezielter, hochwertiger Forschung fehlt, zum anderen, dass es dringend notwendig ist, grundsätzlich genau zu definieren, welche Personen wie, wo und in welchem Ausmaß der (5G-)Mobilfunkstrahlung ausgesetzt sind bzw. dies zukünftig sein werden. Des Weiteren beziehen sich zwar die Diskussionen – besonders in der Öffentlichkeit – auf die Frage, ob Gesundheitsrisiken ausreichend belegt bzw. widerlegt sind und ob Grenzwerte entsprechend verändert oder gar ein



Moratorium ausgerufen werden müsste. Diesbezüglich gibt es aber durchaus sinnvolle Optionen, auch bei eingeschränktem Wissensstand verantwortungsvoll und vorsorgend auf die nicht von vielen, aber doch von einigen geteilten Gesundheitsbefürchtungen einzugehen (ITA 2020b, S.2):

- umsichtige Vermeidung, d.h. begleitend zu Grenzwertsetzungen, sollte nur die niedrigste, vernünftig erreichbare Belastung angestrebt werden;
- Formulierung spezifischer Leitlinien für den Sendeanlagenbau, das technische Design von Endgeräten und die Gestaltung der Grundversorgungsinfrastruktur;
- gezielte Information zu den technischen Details aller geplanten Ausbaustufen, den tatsächlich erwartbaren Anwendungsbereichen, Geräten und Anlagen und damit zu der zu erwartenden Expositionssituation;
- Förderung unabhängiger, nationaler und internationaler Forschung auf höchstem Niveau;
- neue Wege und Orte der Unsicherheits- und Risikoinformation und des Dialoges angesichts des hohen Bedarfs an Austausch der unterschiedlichen Akteure;
- Evaluierung des Risikogovernancesystems in Hinblick auf die institutionell getrennte Bearbeitung von Evidenzbeurteilung, Handlungsempfehlung und politische Entscheidung.

6.5 Risikogovernance

Die in diesem Bericht vorgenommene Analyse der Studienlage betraf die Identifizierung des Gefährdungspotenzials, die Expositionsschätzung und quantitative Charakterisierung der Risiken sowie der mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen assoziierten Unsicherheiten. Als solches dient das TA-Projekt der Risikoabschätzung. Auf diesen Ergebnissen aufbauend kann das Risikomanagement Maßnahmen identifizieren, auswählen, umsetzen und evaluieren.

Wenn wissenschaftlich fundierte Hinweise auf ein Gefährdungs- und Expositionspotenzial vorliegen, kann es angebracht sein, vorsorglich Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Dies ist der Fall, wenn eine plausible Drohung oder Gefährdung vorliegt (BfS 2008, S.1) bzw. wenn die vorliegenden Erkenntnisse Anlass zur Besorgnis geben.⁸⁸ Ob dies der Fall ist, hängt maßgeblich von der Bewertung der Ernsthaftigkeit des Risikos, dem Umfang der durchgeführten wissenschaftlichen Analyse, den Charakteristiken der Technologie oder antizipierten Risiken sowie der mit der Frage assoziierten wissenschaftlichen Unsicherheiten ab (RECIPIES 2021, S. 15 ff.). Wissenschaftliche Unsicherheiten sind vorhanden, wenn widersprüchliche Daten beispielsweise über die Natur oder das Ausmaß der Effekte vorliegen oder aber auch wenn der kausale Zusammenhang nicht endgültig

⁸⁸ <https://www.umweltbundesamt.de/vorsorgeprinzip> (24.2.2022)

wissenschaftlich nachgewiesen werden konnte (Science for Environmental Policy, 2017, S. 5). Meistens lässt sich der kausale Zusammenhang zwischen Risikofaktor und Erkrankung nicht abschließend beurteilen. Ein Interpretationsspielraum bleibt häufig übrig (BfS 2021, S. 4). Auch aus der in diesem Bericht analysierten Studienlage kann kein Beweis für eine generelle Unbedenklichkeit von mobilfunkverursachten EMF abgeleitet werden.

Warum in einzelnen Studien signifikante Effekte beobachtet wurden und zugleich Aggregatoren zu dem Schluss kommen, dass kein Grund zur Sorge vorhanden bzw. eine Anpassung der Regulierung nicht erforderlich ist, illustriert der Bericht von ITA und AIT (2020, 34 ff.) in eindrucksvoller Weise. Bei der Aggregation werden die Ergebnisse einzelner Studien vor dem Hintergrund des gesamten Wissens und Nichtwissens bewertet. Dies führt dazu, dass die Bedeutung etwaiger empirischer Ergebnisse durch das Fehlen theoretischer Erklärungsmodelle oder von Studien, die die Ergebnisse reproduzieren, abgeschwächt werden. So können Aggregatoren beispielsweise an einer Stelle hinterfragen, ob Forschung zu gentoxischen Effekten auf Zellniveau gerechtfertigt ist, wenn keine Erhöhung der Krebsrate in Tierstudien beobachtet wurde und an anderer Stelle darauf hinweisen, dass eine beobachtete erhöhte Krebserkrankung auf die Behandlung nicht zurückzuführen ist, wenn die Wirkmechanismen nicht geklärt sind (RSC 2014, S. 80). So kommen manche Expert/innen und Organisationen zu dem Schluss, dass Vorsorgemaßnahmen unverzüglich implementiert werden müssen (Carlberg & Hardell 2017, Butler 2020), andere zum gegenteiligen Schluss (siehe Kap. 6.2). Dies ist auch davon abhängig, welche Anforderungen für die Anwendung des Vorsorgeprinzips zugrunde gelegt werden: ein Anfangsverdacht oder ein stichhaltiger Beweis (ITA und AIT 2020, S. 39). Auch die jeweilige (institutionalisierte) Risikokultur spielt bei der Formulierung von Empfehlungen eine zentrale Rolle (ITA und AIT 2020, 40 f.).

Zusätzliche Fragen (gerade auch im Kontext der jeweiligen unterschiedlichen Risikokulturen) werfen etwa auch biologische Effekte auf, die nicht zwingend zu gesundheitlichen Schäden führen müssen. Bezüglich Evidenz und Risiko heißt dies, dass die Abwesenheit jeden Risikos in komplexen Systemen (und dazu zählen biologische Systeme und somit auch der menschliche Organismus) prinzipiell nicht letztgültig bewiesen werden kann. Viele Variablen lassen viele Risikohypothesen zu, während zugleich alle Details der betroffenen organischen Systeme, Wirkmechanismen und hypothetisch ausgelösten Erkrankungen zu wenig verstanden sind (ITA 2020, S. 27).

Eine disziplinenübergreifende Zusammenarbeit bei der Betrachtung dieser Variablen wäre notwendig. Wünschenswert wäre eine fächerübergreifende Zusammenarbeit auch, um Risikohypothesen des Mobilfunks per se besser abklären zu können. Von systemorientierten Expert/innen wird deshalb angemahnt, umweltmedizinische Synergieeffekte nicht zu unterschätzen. Das heißt, dass ein möglicher biologischer Einfluss oder eine gesundheitliche Belastung durch



Mobilfunkstrahlung im Lebensalltag nicht isoliert auf einen Organismus wirken. Sie addieren sich zu den anderen Umwelteinflüssen wie sonstigen elektromagnetischen Feldern, chemischen Substanzen in Luft, Wasser und Nahrung oder auch psychische Stressbelastungen aller Art, woraus theoretisch Kombinationseffekte resultieren könnten. Für sich genommen nicht gesundheitsschädliche Faktoren könnten sich zu einer Gesamtbelastung summieren, die vom Organismus schließlich nicht mehr toleriert werden kann (z. B. Kühling 2019).

Vor diesem Hintergrund werden die grundsätzlichen Schwierigkeiten, das Thema »Gesundheitliche Risiken des Mobilfunks« rein aus der wissenschaftliche Erkenntnislage heraus zu betrachten (oder resultierende Entscheidungen zu treffen), deutlich. In diesem Kontext, nämlich um aus einer Bewertung der wissenschaftlichen Erkenntnislage Schlussfolgerungen für das Management des Risikos ableiten zu können, wird etwa empfohlen, die vier sogenannten Bradford-Hill-Kriterien (Bradford Hill 1965) als Analyseraster anzuwenden. Mit den Kriterien kann beurteilt werden, wie gut die vorliegenden Befunde die Annahme eines kausalen Zusammenhangs untermauern. Je besser die Kriterien erfüllt sind, desto plausibler ist der Zusammenhang zwischen Risikofaktor und Erkrankung (BfS 2021, S.4) und desto wichtiger die Anwendung des Vorsorgeprinzips. Bei den Kriterien handelt es sich um:

- › Konsistenz der Ergebnisse: Kommen unterschiedliche Studien zu vergleichbaren Aussagen?
- › Dosis/Exposition-Wirkung-Beziehung: Steigt mit zunehmender Exposition das Risiko an?
- › Biologische Plausibilität: Passt der Zusammenhang zu dem vorhandenen biologischen Wissen? Wurde der Wirkmechanismus und der Effekt in Tierstudien und In-vitro-Experimenten gezeigt?
- › Kohärenz: Sind die beobachteten Effekte mit dem Wissen und der Biologie zu der betrachteten Krankheit kohärent?

Die Governance von Risiken ist eine politische Aufgabe, die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen fußt und darüber hinaus geht (OPECST 2019, S. 101). Dabei soll der Handlungsbedarf festgestellt werden, einzelne Maßnahmenoptionen identifiziert, bewertet und verglichen werden (Risikokommission 2003, S. 41).

Für die Ableitung der Notwendigkeit von Vorsorgemaßnahmen sind neben einer Bewertung der verfügbaren wissenschaftlichen Evidenz und damit verbundenen (Un-)Sicherheiten auch weitere Wissens Elemente einzubeziehen. Dazu zählt die Bewertung des Abstands zu einer möglichen Wirkschwelle und das Ausmaß der möglichen Schäden (BfS 2021, S.2). Politische, soziale, mediale und kulturelle Aspekte sind bei der Risikobewertung ebenfalls im Blick zu behalten. Dafür können demokratiepolitische Qualitätskriterien angelegt werden (ITA 2020, S.49). Der interessierten bzw. organisierten Öffentlichkeit sollte eine Möglichkeit der Mitsprache *vor* der politischen Entscheidungsfindung eingeräumt

werden. Öffentliche Debatten über Risiken sind für das Vertrauen in und die Akzeptanz von Entscheidungen essenziell. Wichtig ist hierbei, für eine gute Strukturierung der Debatte zu sorgen und einen starken Fokus auf die Inhalte zu legen, dabei auch auf die quantitative Abschätzung der Risiken. Klar ausgewählte strittige Aspekte und die möglichen Folgen einer Regulierung bzw. von verschiedenen Maßnahmenoptionen sollten diskutiert, zugleich aber die Diskussion von Prozeduren der Risikoabschätzung möglichst vermieden werden bzw. in den Hintergrund rücken. Die Ergebnisse der Risikoabschätzung wären sodann für die Öffentlichkeit kommunikativ aufzubereiten, insbesondere wenn Widersprüche vorliegen (OPECST 2019, S. 140 f.).

Ein Beispiel der Umsetzung eines solchen demokratiepolitischen Prozesses stellt die Royal Society of Canada, die parallel zur Neudiskussion der bestehenden gesetzlichen Grenzwerte auch ein Beteiligungsverfahren organisierte (ITA 2020, S. 47 ff.). In Frankreich organisierte die französische OPECST in den letzten 4 Jahren öffentliche Anhörungen zu den Risiken der EMF-Hypersensibilität⁸⁹, zu den Auswirkungen von EMF auf Nutztiere⁹⁰ sowie zu den Perspektiven von 5G⁹¹. Darüber hinaus kann es sinnvoll sein, die Partizipation der Öffentlichkeit an der Gestaltung von Forschungsprogrammen und -design zu ermöglichen oder zu stärken, um die Akzeptanz der resultierenden Erkenntnisse zu stärken (OPECST 2018, S. 72).

Bei der Entscheidung über Vorsorgemaßnahmen haben die allgemeinen Grundsätze eines Risikomanagements Anwendung zu finden. Dazu gehört das Prinzip der Verhältnismäßigkeit und die Abwägung der Vor- und Nachteile eines Tätigwerdens oder Nichttätigwerdens. Kosten und Nutzen sollen gegenübergestellt werden und nichtwirtschaftliche Dimensionen wie die Akzeptanz der Öffentlichkeit für die vorgesehenen Maßnahmen in die Beratung bzw. Entscheidungsfindung Eingang finden.⁹² Nur auf einer breiten Wissensgrundlage kann evaluiert werden, ob ein Handlungsbedarf besteht und ggf. Vorsorgemaßnahmen bestimmt werden, die dem angestrebten Schutzniveau entsprechen. Neben einer Anpassung der Grenzwerte können auch Beschränkungen der Verwendung, verstärkte Informationen der Bevölkerung, technische Standards, die der Ermittlung und Anwendung des SAR-Wertes zugrunde liegen, oder auch Schutzzonen eingerichtet werden, in denen z. B. die Verwendung von Mobiltelefonen oder die Errichtung von Sendeanlagen verboten oder stark eingeschränkt wird, in Betracht gezogen werden. Auch über die vom BfS hinausgehenden Anwendungsempfehlungen kommen infrage.

89 <http://www.senat.fr/compte-rendu-commissions/20180528/opecst.html#toc2> (24.2.2022)

90 http://www.senat.fr/compte-rendu-commissions/20210215/opecst_bul_2021_02_18.html#toc2 (24.2.2022)

91 https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/ots/l15b1488_rapport-information#_Toc533086326 (24.2.2022)

92 Mitteilung der Kommission. Die Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips. /* KOM (2000) 1 endgültig



In Deutschland wie in vielen anderen Ländern weltweit auch ist die staatliche bzw. behördliche Risikogovernance bezüglich möglicher Gesundheitsrisiken durch HF-EMF zumeist stark expertenzentriert. Zugleich entsteht manchmal durchaus der Eindruck, als wenn es letztlich nur wenige (und häufig dieselben) Expert/innen zum Thema »Gesundheitliche Risiken des Mobilfunks« gibt, die umfangreiche Expertise hierzu erworben haben und die zugleich sehr oft immer wieder von staatlichen Behörden nachgefragt werden. Und so wird etwa die Festlegung der Rahmenbedingungen für die Risikobewertung, die Risikobewertung selbst und die Entscheidung darüber, welche EMF-Expositionen noch tolerierbar sind, faktisch zumeist einem Personenkreis überlassen, der aus engagierten Einzelpersonen oder einem Expertengremium, nämlich insbesondere der ICNIRP, besteht. Hier zeigt sich, dass wesentliche bzw. relevante Aggregatoren und deren Entscheidungen in Politik bzw. in durch öffentliche Institutionen einberufenen Gremien die Expertise bzw. Einschätzungen von oft nur wenigen Expert/innen repräsentieren (ITA 2020, S.32). Ein wesentliches Charakteristikum dieser Vorgehensweise ist also, dass sich die Begründung für die Erforderlichkeit bzw. Angemessenheit der Regulierung unmittelbar (und oft ausschließlich) auf die wissenschaftliche Expertise des Expertengremiums stützt.

Hingegen werden die Belange möglicher Risikoträger und anderer, vor allem nichtwirtschaftlicher Interessengruppen formal erst im Rahmen der Umsetzung von Maßnahmen des Risikomanagements im Zuge eines Gesetzgebungsverfahrens einbezogen. Die letztlich somit recht geringe Anzahl der über diese Wege am Diskurs beteiligten Expert/innen, (betroffenen) Personenkreise und auch Institutionen führt mitunter zu dem Vorwurf einer fehlenden Unvoreingenommenheit bzw. eines interessengetriebenen Agierens und Entscheidens, wie auch zur Entstehung und Perpetuierung einer »Lagerbildung« (ITA 2020, S.33).

Die Erfolgsfaktoren für eine effektive Risikogovernance sind aus der systemischen Risikoforschung bekannt: Erfolgversprechend ist ein offener, transparenter und inklusiver Ansatz, der die Bedeutung der Partizipation aller relevanten Stakeholder sowohl bei der Risikobewertung als auch beim Risikomanagement anerkennt und entsprechend (frühzeitig) Partizipationsmöglichkeiten einräumt. Dieses Grundprinzip genießt inzwischen eine breite Anerkennung. So ist es beispielsweise ein zentrales Element der Empfehlungen der OECD für die Governance kritischer Risiken (OECD 2014). Eine offene und breite Partizipation von Stakeholdern ermöglicht die Entwicklung eines in der Governance systemischer Risiken notwendigen gemeinsamen Verständnisses der Problemlage und eine effizientere Lösungsfindung, die von einer Vielfalt an Information und Sichtweisen insbesondere bezüglich des Umgangs mit Unsicherheiten und Nebenwirkungen



der möglichen Maßnahmen bzw. Grenzwerte profitiert (IRGC 2017b, S. 18 f.; 36 f.).

Eine wesentliche Aufgabe besteht darin, Hürden für eine offene wechselseitige Kommunikation von Akteursgruppen insbesondere zwischen Wissenschaft, Zivilgesellschaft und Politik abzubauen um somit Glaubwürdigkeit, Relevanz und Legitimität des Informationsflusses und damit letztlich auch der Entscheidungen zu ermöglichen. Auf diese Weise kann der gesellschaftliche Kontext sowohl der Risiken als auch der zu treffenden Entscheidungen (insbesondere zur Regulierung) am besten einbezogen werden (IRGC 2017a, S. 27).

Vor diesem Hintergrund wäre es aus Sicht des TAB erwägenswert, den Prozess der Risikobewertung und des Risikomanagements einer Evaluation dahingehend zu unterziehen, ob relevante Stakeholder rechtzeitig und umfassend genug einbezogen sind und ob die Kommunikation der einzelnen Schritte offen und transparent ist. Falls nach entsprechendem Ausgang der Evaluation ein Reformbedarf gesehen wird, stehen orientierende Beispiele bereit.⁹³

93 z. B. <https://irgc.org/risk-governance/irgc-risk-governance-framework/case-studies/> (1.10.2020)

7 Literatur

7.1 In Auftrag gegebene Gutachten

- femu (Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit) (2019): Aktuelle Forschungen und Ergebnisse zu EMF-Risiken für Kinder und ältere Menschen. (Drießen, S.; Dechent, D.; Bodewein, L.; Krause, T.; Gräfrath, D.) Uniklinik RWTH Aachen, Aachen
- FSM (Forschungstiftung Strom und Mobilkommunikation) (2017): Aktuelle Forschungen zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen bzw. Risiken der HF-EMF. (Dürrenberger, G.; Fröhlich, J.) Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich
- Öko-Institut e. V. (2017): Systematische Beschreibung der EMF-Emissionen elektrischer Geräte und Anlagen. (Küppers, C.; Gröger, J.; Wendt, S.) Berlin/Darmstadt

7.2 Weitere Literatur

- Abramson, M.; Benke, G.; Dimitriadis, C.; Inyang, I.; Sim, M.; Wolfe, R.; Croft, R. (2009): Mobile telephone use is associated with changes in cognitive function in young adolescents. *Bioelectromagnetics* 30(8), S. 678–686
- Advisory Group on Non-ionising Radiation (2012): Health effects from radiofrequency electromagnetic fields. London, Chilton, Didcot, Oxfordshire: Health Protection Agency; Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards (Documents of the Health Protection Agency. Radiation, chemical and environmental hazards, REC-20). https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/333080/RCE-20_Health_Effects_RF_Electromagnetic_fields.pdf (22.10.2020)
- AirFuel Alliance (2018): Our Members – AirFuel Alliance. <https://airfuel.org/about-air-fuel/membership/> (22.10.2020)
- Anderson, M.; Jiang, J. (2018): Teens, Social Media and Technology 2018. Pew Research Center, 31.5.2018, <https://www.pewresearch.org/internet/2018/05/31/teens-social-media-technology-2018/> (10.10.2020)
- ANSES (2013a): Update of the »Radiofrequencies and health« expert appraisal. Maisons-Alfort. https://www.anses.fr/en/system/files/PRES2013CPA18EN_0.pdf (10.10.2020)
- ANSES (2013b): OPINION of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety concerning the update of the »Radiofrequency electromagnetic fields and health« expert appraisal. French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety (Hg.). Maisons-Alfort (ANSES Opinion, 2011-SA-0150). www.anses.fr/en/system/files/AP2011sa0150RaEN.pdf (22.10.2020)
- ANSES (2015): Exposition aux agents physiques et aux nouvelles technologies: quels effets sanitaires? Rencontres scientifiques de l'ANSES: Restitution du programme national de recherche environnement santé travail. www.anses.fr/fr/system/files/RSC121015-DossierParticipant.pdf (22.10.2020)

- ANSES (2016a): Expert appraisal of »Exposure to radiofrequencies and child health«. French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety (Hg.), Maisons-Alfort
- ANSES (2016b): Regards sur dix ans de recherche – Le PNR EST, de 2006 à 2015. Édition scientifique. ANSES (Hg.). Maisons-Alfort (Les Cahiers de la Recherche – Santé, Environnement, Travail). www.anses.fr/fr/system/files/CDLR-mg-Regards10ansPNREST8.pdf (22.10.2020)
- ANSES (2017a): Radiofréquences et santé. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Hg.), Maisons-Alfort
- ANSES (2017b): Radiofréquences et Santé. Comprendre ou en est la recherche (Les Cahiers de la Recherche – Santé, Environnement, Travail). www.anses.fr/fr/system/files/CDLR-mg-RadiofrequencesetSante9.pdf (22.10.2020)
- ANSES (2018a): Hypersensibilité aux ondes électromagnétiques ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques. Avis de l'ANSES – Rapport d'expertise collective (Saisine no. »2011-SA-0150«). <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2011SA0150Ra.pdf> (22.10.2020)
- ANSES (2018b): AVIS de l'Anses relatif à une analyse des rapports provisoires de l'étude du *National Toxicology Program* américain sur l'exposition animale à des radiofréquences (2016-SA-0176). www.anses.fr/fr/system/files/AP2016SA0176.pdf (22.10.2020)
- ANSES (2018c): Réponses aux questions soulevées par les résultats provisoires de l'étude du programme toxicologique américain (NTP) sur les effets sanitaires potentiels des rayonnements radiofréquences émis par les téléphones mobiles sur des rats et souris (2016-SA-0176). www.anses.fr/fr/system/files/AP2016SA0176-Anx1.pdf (22.10.2020)
- Aschermann, T. (2017): Kabelloses Laden (QI) nachrüsten – so klappt's. Chip, 22.1.2017, https://praxistipps.chip.de/kabelloses-laden-qi-nachruesten-so-klappts_51391 (15.10.2020)
- Aydin, D.; Feychting, M.; Schüz, J.; Andersen, T.; Poulsen, A.; Prochazka, M.; Klæboe, L.; Kuehni, C.; Tynes, T.; Röösl, M. (2011a): Predictors and overestimation of recalled mobile phone use among children and adolescents. CEFALO study. Progress in biophysics and molecular biology 107(3), S. 356–361
- Aydin, D.; Feychting, M.; Schüz, J.; Tynes, T.; Andersen, T.; Samsø Schmidt, L.; Poulsen A.; Johansen, C.; Prochazka, M.; Lanngier, B.; Klæboe, L. et al. (2011b): Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. CEFALO study. Journal of the National Cancer Institute 103(16), S. 1264–1276
- BAG (2016a): Faktenblatt Babyfon. Bundesamt für Gesundheit, Schweizerische Eidgenossenschaft. Bern, www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/nis/faktenblaetter-emf/faktenblatt-babyfon.pdf.download.pdf/faktenblatt%20babyfon%20d.pdf (22.10.2020)
- BAG (2016b): Faktenblatt Bluetooth. Bundesamt für Gesundheit, Schweizerische Eidgenossenschaft. Bern, www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/nis/faktenblaetter-emf/faktenblatt-bluetooth.pdf.download.pdf/faktenblatt%20bluetooth%20d.pdf (22.10.2020)
- BAG (2016c): Faktenblatt Induktionskochherd. Bundesamt für Gesundheit, Schweizerische Eidgenossenschaft. Bern, www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/nis/faktenblaetter-emf/faktenblatt-induktionskochherd.pdf (22.10.2020)



- BAG (2016d): Faktenblatt Mikrowellenofen. Bundesamt für Gesundheit, Schweizerische Eidgenossenschaft. Bern, www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/nis/faktenblaetter-emf/faktenblatt-mikrowellenofen.pdf (22.10.2020)
- BAG (2016e): Faktenblatt Smartphone. Bundesamt für Gesundheit, Schweizerische Eidgenossenschaft. Bern, www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/nis/faktenblaetter-emf/faktenblatt-smartphone.pdf.download.pdf/faktenblatt%20smartphone%20d.pdf (22.10.2020)
- BAG (2016f): Faktenblatt WLAN. Bundesamt für Gesundheit, Schweizerische Eidgenossenschaft. Bern, www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/nis/faktenblaetter-emf/faktenblatt-wlan.pdf.download.pdf/faktenblatt%20wlan%20d.pdf (22.10.2020)
- Bauer, C. (2019): Kabelloses Laden: Die besten Handys mit Induktion nach Qi-Standard. Chip, 10.7.2019, www.chip.de/artikel/kabelloses-laden-die-besten-handys-mit-induktion-nach-qi-standard_118253 (15.10.2020)
- BERENIS (2018): Newsletter-Sonderausgabe November 2018. Beratende Expertengruppe nicht-ionisierende Strahlung. Basel, www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/elektrosmog/fachinfo-daten/Newsletter%20BERENIS%20-%20Sonderausgabe%20November%202018.pdf.download.pdf/Newsletter%20BERENIS%20-%20Sonderausgabe%20November%202018%20-%20DEUTSCH.pdf (22.10.2020)
- Betzalel, N.; Feldman, Y.; Ishai, P. (2017): The Modeling of the Absorbance of Sub-THz Radiation by Human Skin. IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology 7(5), S. 521–528
- Betzalel, N.; Ishai, P.; Feldman, Y. (2018): The human skin as a sub-THz receiver – Does 5G pose a danger to it or not? Environmental research 163, S. 208–216
- BfS (Bundesamt für Strahlenschutz) (2008): Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms German Mobile Telecommunication Research Programme (DMF). Bewertung der gesundheitlichen Risiken des Mobilfunks. Stand: 15.5.2008. Salzgitter, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201108036032> (22.10.2020)
- BfS (2012): Hochfrequente elektromagnetische Felder im Haushalt – Mikrowellengeräte. Salzgitter, www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/emf/info-mikrowellengerate.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (22.10.2020)
- BfS (2017a): LTE – Long Term Evolution. Salzgitter, <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/mobilfunk/basiswissen/lte.html> (22.10.2020)
- BfS (2017b): Zusammenstellung von SAR-Werten von Handys. www.bfs.de/SiteGlobals/Forms/Suche/BfS/DE/SARsuche_Formular.html (22.10.2020)
- BfS (2018): Programmreport 2017. Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Salzgitter, https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2018071915600/3/BfS-SCHR-64-18_Programmreport_2017-1-rev.pdf (22.10.2020)
- BfS (2019a): 5G. Salzgitter, <https://www.bfs.de/DE/mediathek/multimedia/video/emf/emf-mobilfunk-5g.html> (22.10.2020)
- BfS (2019b): Wissenschaftlich diskutierte biologische und gesundheitliche Wirkungen hochfrequenter Felder. Salzgitter, www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/wirkung/hff-diskutiert/hff-diskutiert.html (22.10.2020)
- Bhatt, C.; Benke, G.; Smith, C.; Redmayne, M.; Dimitriadis, C.; Dalecki, A.; Macleod, S.; Sim, M.; Croft, R.; Wolfe, R.; Kaufmann, J.; Abramson, M. (2017): Use of

- mobile and cordless phones and change in cognitive function: a prospective cohort analysis of Australian primary school children. *Environmental health* 16(1), S. 62
- Bioinitiative Working Group (2012): A Rationale for Biologically-based Exposure Standards for Low-Intensity Electromagnetic Radiation. Unter Mitarbeit von Behari, J., Rajamani, P. und Bellieni, C. et al., Sage, C., Carpenter, D. (Hg.). www.bioinitiative.org/ (22.10.2020)
- Birks, L.; Guxens, M.; Papadopoulou, E.; Alexander, J.; Ballester, F.; Estarlich, M.; Galastegi, M.; Ha, M.; Haugen, M.; Huss, A.; Kheifets, L. et al. (2017): Maternal cell phone use during pregnancy and child behavioral problems in five birth cohorts. *Environment international* 104, S. 122–131
- Bitkom (2019): Mit 10 Jahren haben die meisten Kinder ein eigenes Smartphone. www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Mit-10-Jahren-haben-die-meisten-Kinder-ein-eigenes-Smartphone (20.10.2020)
- Bluetooth SIG (2017): Why build with Bluetooth. www.bluetooth.com/what-is-blue-tooth-technology/why-build-with-bluetooth (1.12.2017)
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) (2019): Fragen und Antworten zur Einführung der 5G-Mobilfunknetze und den damit in Verbindung stehenden elektromagnetischen Feldern (EMF). www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/strahlenschutz/nichtionisierende-strahlung/strahlenschutz-beim-mobilfunk/fragen-und-antworten-zur-einfuehrung-der-5g-mobilfunknetze-und-emf/, (20.10.2020)
- BNetzA (Bundesnetzagentur) (2010a): Allgemeinzuteilung von Frequenzen in den Bereichen 5150 MHz – 5350 MHz und 5470 MHz – 5725 MHz für Funkanwendungen zur breitbandigen Datenübertragung, WAS/WLAN (»Wireless Access Systems including Wireless Local Area Networks«). https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2010_07_WLAN_5GHz_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=7 (20.10.2020)
- BNetzA (2010b): Bluetooth – die Funkalternative zur Verkabelung. <http://emf2.bundesnetzagentur.de/pdf/Bluetooth-BNetzA.pdf> (2.11.2017)
- BNetzA (2010c): UMTS – der Multimedia-Mobilfunk. <http://emf2.bundesnetzagentur.de/pdf/Mobilfunk-BNetzA.pdf> (4.11.2017)
- BNetzA (2013a): Allgemeinzuteilung von Frequenzen für Babyüberwachungsanlagen. www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2013_04_Babyueberwachungsanlagen_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (22.10.2020)
- BNetzA (2013b): Allgemeinzuteilung von Frequenzen für die Nutzung in lokalen Netzwerken. Wireless Local Area Networks (WLAN) bei 2,4 GHz. www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2013_10_WLAN_2,4GHz_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (22.10.2020)
- BNetzA (2015a): Allgemeinzuteilung von Frequenzen für die Nutzung durch schnurlose Telekommunikationsanlagen des Systems DECT. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/DECT_Vfg_25_2015.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (22.10.2020)
- BNetzA (2015b): DECT – Schnurlos-Telefonie. <http://emf2.bundesnetzagentur.de/pdf/DECT-BNetzA.pdf> (17.11.2017)



- BNetzA (2015c): Funkanwendungen auf den ISM-Bändern. <http://emf3.bundesnetzagentur.de/pdf/ISM-BNetzA.pdf> (1.12.2017)
- BNetzA (2018a): Allgemeinzuteilung von Frequenzen für die Nutzung durch Ultrabreitbandgeräte (UWB). https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2019Vfg135_UWB.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (28.10.2019)
- BNetzA (2018b): Allgemeinzuteilung von Frequenzen für die Nutzung in lokalen Netzwerken; Wireless Local Area Networks (WLAN-Funkanwendungen). www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2013_10_WLAN_2,4GHz.pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (22.10.2020)
- BNetzA (2018c): Allgemeinzuteilung von Frequenzen zur Nutzung durch Funkanwendungen mit geringer Reichweite für nicht näher spezifizierte Anwendungen; Non-specific Short Range Devices (SRD). www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2018_05_SRD.pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (22.10.2020)
- BNetzA (2018d): Entscheidung der Präsidentenkammer der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen vom 26. November 2018 über die Festlegungen und Regeln im Einzelnen (Vergaberegeln) und über die Festlegungen und Regelungen für die Durchführung des Verfahrens (Auktionsregeln) zur Vergabe von Frequenzen in den Bereichen 2 GHz und 3,6 GHz. (Aktenzeichen: BK1-17/001). www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/20181126_Entscheidungen_III_IV.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (20.10.2020)
- Bundesnetzagentur (2018): Allgemeinzuteilung von Frequenzen in den Bereichen 5150 MHz – 5350 MHz und 5470 MHz – 5725 MHz für Funkanwendungen zur breitbandigen Datenübertragung, WAS/WLAN (»Wireless Access Systems including Wireless Local Area Networks«). www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2010_07_WLAN_5GHz.pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=7 (22.10.2020)
- Bodewein, L.; Schmiedchen, K.; Dechent, D.; Stunder, D.; Graefrath, D.; Winter, L.; Kraus, T.; Driessen, S. et al. (2019): Systematic review on the biological effects of electric, magnetic and electromagnetic fields in the intermediate frequency range (300 Hz to 1 MHz). *Environmental research* 171, S. 247–259
- Bornkessel, C.; Schubert, M. (2005): Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen. Abschlussbericht »Entwicklung geeigneter Mess- und Berechnungsverfahren« vom 17. März 2017. Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST) GmbH, Kamp-Lintfort, www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_015_AB.pdf (20.10.2020)
- Bornkessel, C.; Schubert, M.; Wuschek, M. (2013): Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken. Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik GmbH, Salzgitter, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013041610546> (22.10.2020)

- Bornkessel, C.; Schubert, M.; Wuschek, M.; Schmidt, P. (2006a): Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk- und Fernsehsendern. Teile 1 bis 3, Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik. Kamp-Lintfort, www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_085_AB_Teil1.pdf, www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_085_AB_Teil2.pdf, www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_085_AB_Teil3.pdf (22.10.2020)
- Bornkessel, C.; Schubert, M.; Wuschek, M.; Schmidt, P. (2006b): Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen. Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik GmbH, Kamp-Lintfort, www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_025_AB_01.pdf (20.10.2020)
- Braunschweiger Verkehrs-GmbH (o. J.): Braunschweig fährt jetzt induktiv! Der erste emil-Elektrobus ist auf der M19 unterwegs. www.verkehr-bs.de/fileadmin/user_upload/downloads/Emil/A5_emil_Flyer_WEB.pdf (22.10.2020)
- BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V.) (2012): Stellungnahme des BUND zur Verordnung zur Änderung der Vorschriften über elektromagnetische Felder und das telekommunikationsrechtliche Nachweisverfahren. Drs. 17/12372, www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/ressourcen_und_technik/ressourcen_elektrosmog_telekommunikationsrechtliche_nachweisverfahren_stellungnahme.pdf (20.10.2020)
- Bundesregierung (2008): Seniorinnen und Senioren in Deutschland. Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage der Abgeordneten Sibylle Laurischk, Ina Lenke, Miriam Gruß, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP – Drucksache 16/8301 –. Deutscher Bundestag, Drucksache 16/10155, Berlin
- Bundesregierung (2017): 5G-Strategie für Deutschland. Eine Offensive für die Entwicklung Deutschlands zum Leitmarkt für 5G-Netze und -Anwendungen. Berlin, www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/098-dobrindt-5g-strategie.pdf?__blob=publicationFile (28.8.2019)
- Byun, Y.-H.; Ha, M.; Kwon, H.-J.; Hong, Y.-C.; Leem, J.-H.; Sakong, J.; Kim, S.; Lee, C.; Kang, D.; Choi, H.-D.; Kim, N. (2013): Mobile phone use, blood lead levels, and attention deficit hyperactivity symptoms in children: a longitudinal study. *PloS one* 8(3), e59742
- Cash, D.; Clark, W.; Alcock, F.; Dickson, N.; Eckley, N.; Jäger, J. (2002): Salience, Credibility, Legitimacy and Boundaries: Linking Research, Assessment and Decision Making. KSG Faculty Research Working Paper Series. http://ssrn.com/abstract_id=372280 (15.10.2020)
- Chabalko, M.; Shahmohammadi, M.; Sample, A. (2017): Quasistatic Cavity Resonance for Ubiquitous Wireless Power Transfer. *PloS one* 12(2), e0169045
- Chen, C.; Ma, Q.; Liu, C.; Deng, P.; Zhu, G.; Zhang, L.; He, M.; Lu, Y.; Duan, W.; Pei, L.; Li, M. et al. (2014): Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation impairs neurite out-growth of embryonic neural stem cells. *Scientific reports* 4, S. 5103
- Chiu, C.-T.; Chang, Y.-H.; Chen, C.-C.; Ko, M.-C.; Li, C.-Y. (2015): Mobile phone use and health symptoms in children. *Journal of the Formosan Medical Association*, 114(7), S. 598–604
- Choi, K.-H.; Ha, M.; Ha, E.-H.; Park, H.; Kim, Y.; Hong, Y.-C.; Lee, A.-K.; Kwon, J.-H.; Choi, H.-D.; Kim, N.; Kim, S.; Park, C. (2017): Neurodevelopment for the first three years following prenatal mobile phone use, radio frequency radiation and lead exposure. *Environmental research* 156, S. 810–817



- Choi, S.; Kwon, M.; Chung, J.; Park, J.; Chung, K.; Kim, D. (2014): Effects of short-term radiation emitted by WCDMA mobile phones on teenagers and adults. *BMC public health* 14(1), S.438
- Christ, A.; Klingeböck, A.; Samaras, T.; Neufeld, E.; Kuster, N. (2006): Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich. ITIS Foundation. Zürich, www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_055_AB.pdf (22.10.2020)
- Connected Living (2017): Smart Home Index 2017. Berlin, https://connected-living.org/content/4-information/1-news/20171011-smart-home-index-2017-ist-smart-home-in-deutschen-haushalten-angekommen/20171004_sh_index_connected-living.pdf (22.10.2020)
- Croft, R.; Leung, S.; McKenzie, R.; Loughran, S.; Iskra, S.; Hamblin, D.; Cooper, N. (2010): Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly. *Bioelectromagnetics* 31(6), S.434–444
- Danker-Hopfe, H.; Dorn, H.; Eggert, T.; Sauter, C. (2019a): Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Frauen. BfS (Hg.), Salzgitter, http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2019013117414/3/BfS_2019_3614S30012.pdf (22.10.2020)
- Danker-Hopfe, H.; Eggert, T.; Dorn, H.; Sauter, C. (2019b): Effects of RF-EMF on the Human Resting-State EEG-the Inconsistencies in the Consistency. Part 1: Non-Exposure-Related Limitations of Comparability Between Studies. *Bioelectromagnetics* 40(5), S.291–318
- Davison, D. (2017): From wireless to dynamic electric vehicle charging: The evolution of Qualcomm Halo. 18.5.2017, Qualcomm, www.qualcomm.com/news/onq/2017/05/18/wireless-dynamic-ev-charging-evolution-qualcomm-halo (21.10.2020)
- Destatis (Statistisches Bundesamt) (2017): Wirtschaftsrechnungen: Private Haushalte in der Informationsgesellschaft. Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien. Fachserie 15, Reihe 4, https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00075862 (22.10.2020)
- Destatis (2019a): Ausstattung mit Gebrauchsgütern. https://www.destatis.de/DE/TheMen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/_inhalt.html (22.10.2020)
- Destatis (2019b): Ausstattung privater Haushalte mit Informations- und Kommunikationstechnik – Deutschland. www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/AusstattungGebrauchsguetern/Tabelle/Infotechnik_D.html (22.10.2020)
- DG Energy (2017): Ecodesign Preparatory study on Smart Appliances (Lot 33). MEERP Tasks 1–6. (Vanthournout, K.; Gerard, H.; Virag, A.; Ectors, D.; Bogaert, S.; Claessens, S.; Mulder, M.; De Breucker, D., European Commission Directorate-General for Energy) Brüssel, https://eco-smartappliances.eu/sites/ecosmartappliances/files/downloads/Ecodesign%20Preparatory%20Study%20on%20Smart%20Appliances%20_Tasks%201%20to%206.pdf (22.10.2020)
- Divan, H.; Kheifets, L.; Obel, C.; Olsen, J. (2008): Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children. *Epidemiology* 19(4), S.523–529
- Divan, H.; Kheifets, L.; Obel, C.; Olsen, J. (2012): Cell phone use and behavioural problems in young children. *Journal of epidemiology and community health* 66(6), S.524–529

- Divan, H.; Kheifets, L.; Olsen, J. (2011): Prenatal cell phone use and developmental milestone delays among infants. *Scandinavian journal of work, environment & health* 37(4), S. 341–348
- DKE (2016): Der Technische Leitfaden. Ladeinfrastruktur Elektromobilität. Version 2. Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e.V. (Hg.), Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke und Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. DKE/AK EMOBILITY.60, <https://www.harzenegie-netz.de/de/Netzanschluss/Anschluss-fuer-Elektrofahrzeuge/Rechte-Seite/Technischer-Leitfaden-zur-Ladeinfrastruktur-Elektromobilitaet.pdf> (28.10.2020)
- Dürrenberger, G.; Fröhlich, J. (2018): Kommentar zu den Tierstudien vom NTP und vom Ramazzini Institut. FSM – Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation; Krebsliga schweiz. Zürich, www.emf.ethz.ch/fileadmin/user-upload/Neue_Tierstudien.pdf (22.10.2020)
- Dürrenberger, G.; Klaus, G. (2004): EMF von Energiesparlampen: Feldmessungen und Expositionsabschätzungen im Vergleich zu anderen Quellen im Alltag. Forschungsstiftung Mobilkommunikation. Zürich, www.newsd.admin.ch/newsd/mesage/attachments/478.pdf (22.10.2020)
- Durusoy, R.; Hassoy, H.; Özkurt, A.; Karababa, A. (2017): Mobile phone use, school electromagnetic field levels and related symptoms: a cross-sectional survey among 2150 high school students in Izmir. *Environmental health* 16(1), S. 51
- Elliott, P.; Toledano, M.; Bennett, J.; Beale, L.; de Hoogh, K.; Best, N.; Briggs, D.J. (2010): Mobile phone base stations and early childhood cancers: case-control study. In: *BMJ (Clinical research ed.)* 340, c3077
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute) (2013): TS 102 939-1, V1.1.1 (2013-04) – Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Ultra Low Energy (ULE); Machine to Machine Communications; Part 1: Home Automation Network (phase 1). www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102900_102999/10293901/01.01.01_60/ts10293901v010101p.pdf (22.10.2020)
- ETSI (2016): EN 301 406, V2.2.2 (2016-09) – Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of the Directive 2014/53/EU. www.etsi.org/deliver/etsi_en/301400_301499/301406/02.02.02_60/en_301406v020202p.pdf (22.10.2020)
- ETSI (2019): Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT). www.etsi.org/technologies/dect (22.10.2020)
- Falcioni, L.; Bua, L.; Tibaldi, E.; Lauriola, M.; de Angelis, L.; Gnudi, F.; Mandrioli, D.; Manservigi, M.; Manservigi, F.; Manzoli, I.; Menghetti, I. et al. (2018): 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. *Environmental research* 165, S. 496–503
- Feychting, M. (2011): Mobile phones, radiofrequency fields, and health effects in children – epidemiological studies. *Progress in biophysics and molecular biology* 107(3), S. 343–348
- FfE (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.) (2012): Alltagstauglichkeit des induktiven Ladens. Endbericht. Unter Mitarbeit von Thomas Rasilier. München, www.ffe.de/download/article/411/20120221_Bericht_Alltagstauglichkeit-Induktives_Laden.pdf (6.12.2017)



- Föderaler Öffentlicher Dienst Volksgesundheit, Sicherheit der Nahrungsmittelkette und Umwelt (FÖD) (2014): Elektromagnetische Felder und Gesundheit. Ihr Wegweiser durch die elektromagnetische Landschaft. Brüssel. www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/19090388/Brochure_elektromagnetische_DE_kl_resolutie.pdf (22.10.2020)
- Foerster, M.; Thielens, A.; Joseph, W.; Eeftens, M.; Rösli, M. (2018): A Prospective Cohort Study of Adolescents' Memory Performance and Individual Brain Dose of Microwave Radiation from Wireless Communication. *Environmental health perspectives* 126(7), S. 77007
- Foster, K.; Chou, C.-K. (2014): Are Children More Exposed to Radio Frequency Energy From Mobile Phones Than Adults? *IEEE Access* 2, S. 1497–1509
- Foster, K.; Chou, C.-K. (2016): Response to »Children Absorb Higher Doses of Radio Frequency Electromagnetic Radiation From Mobile Phones Than Adults« and »Yes the Children Are More Exposed to Radiofrequency Energy From Mobile Telephones Than Adults«. *IEEE Access* 4, S. 5322–5326
- Fraunhofer ICT (2017): Mikrowellen- und Plasmatechnologie. www.ict.fraunhofer.de/de/komp/pe/mp.html (22.10.2020)
- FSM (2017): Aktuelle Forschungen zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen bzw. Risiken der (HF-)EMF. Unter Mitarbeit von Dürrenberger, G.; Fröhlich, J., FSM – Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation. Zürich
- Gandhi, O. (2015): Yes the Children Are More Exposed to Radiofrequency Energy From Mobile Telephones Than Adults. *IEEE Access* 3, S. 985–988
- Gandhi, O.; Morgan, L.; de Salles, A.; Han, Y.-Y.; Herberman, R.; Davis, D. (2012): Exposure limits: the underestimation of absorbed cell phone radiation, especially in children. *Electromagnetic biology and medicine* 31(1), S. 34–51
- Georg, R.; Landstorfer, F.; Jakobus, U. (2005): Bestimmung der SAR-Werte, die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftreten. Schlussbericht Projektlaufzeit 01.12.2003 bis 31.05.2005. Kronberg/Böblingen/Stuttgart. www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_050_AB_110106.pdf (22.10.2020)
- Georg, R.; Landstorfer, F.; Schmid, G. (2006): Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien. Kronberg u.a.O. www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_035_AB_01.pdf (22.10.2020), www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_035_AB_02.pdf (22.10.2020), www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_035_AB_03.pdf (18.10.2017)
- GfK (2017): AMK-Jahreswirtschafts-Presskonferenz 2017. »Wirtschaftsfaktor Küche«. www.amk.de/wp-content/uploads/2017/05/4-GfK-Praesentation-AMK-Wirtschafts-PK-2017-0805.pdf (22.10.2020)
- gfu (2016): Smartes Genießen – welche Technikprodukte beim Kunden im Fokus stehen. Aus dem Presseraum. gfu Consumer & Home Electronics GmbH. www.gfu.de/presseraum/uebersicht/smartes-geniesen-welche-technikprodukte-beim-kunden-im-fokus-stehen/ (12.12.2017)
- Gläser, K. (2017): Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro. Effects of radiofrequency radiation on the human hematopoietic system in vitro. Dissertation, https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/files/14573/Glaeser_Katharina_Dissertation_Mobilfunk.pdf, (22.10.2020)

- Goodwins, R. (2018): Next-generation 802.11ax wifi: Dense, fast, delayed. ZDNet, 3.10.2018, www.zdnet.com/article/next-generation-802-11ax-wi-fi-dense-fast-delayed/ (15.10.2020)
- Greis, F. (2017): Elektromobilität: Qualcomm lädt E-Autos während der Fahrt auf. Golem.de, 26.5.2017, www.golem.de/news/elektromobilitaet-qualcomm-laedt-e-autos-waehrend-der-fahrt-auf-1705-128011.html (11.1.2018)
- Grigoriev, Y. (2004): Mobile phones and children: is precaution warranted? *Bioelectromagnetics* 25(5), 322–323, author reply 323
- Gröger, J.; Küppers, C.; Wendt, S. (2017): Systematische Beschreibung der EMF-Emissionen elektrischer Geräte und Anlagen. Öko-Institut. Berlin/Darmstadt
- Großmann, D. (2015): Induktives Laden für E-Fahrzeuge. ISO/IEC-15118-Standardisierung. *emobility.tec* (04/2015), S.26–29
- Guxens, M.; Vermeulen, R.; van Eijdsen, M.; Beekhuizen, J.; Vrijkotte, T.; van Strien, R.; Kromhout, H.; Huss, A. (2016): Outdoor and indoor sources of residential radiofrequency electromagnetic fields, personal cell phone and cordless phone use, and cognitive function in 5–6 years old children. *Environmental research* 150, S.364–374
- Guxens, M.; van Eijdsen, M.; Vermeulen, R.; Loomans, E.; Vrijkotte, T.; Kromhout, H.; van Strien, R.; Huss, A. (2013): Maternal cell phone and cordless phone use during pregnancy and behaviour problems in 5-year-old children. *Journal of epidemiology and community health* 67(5), S.432–438
- Guxens, M.; Vermeulen, R.; Steenkamer, I.; Beekhuizen, J.; Vrijkotte, T.; Kromhout, H.; Huss, A. (2019): Radiofrequency electromagnetic fields, screen time, and emotional and behavioural problems in 5-year-old children. *International journal of hygiene and environmental health* 222(2), S.188–194
- Haarala Björnberg, C.; Bergman, M.; Laine, M.; Revonsuo, A.; Koivisto, M.; Hämmäläinen, H. (2005): Electromagnetic field emitted by 902 MHz mobile phones shows no effects on children's cognitive function. *Bioelectromagnetics Suppl* 7, S.144–50
- Hansen, V.; Mbonjo, H.; Streckert, J.; Zhou, Y. (2007a): Entwicklung eines praktikablen rechentechnischen Verfahrens zur Ermittlung der tatsächlichen Exposition in komplizierten Immissionsszenarien mit mehreren verschiedenartigen HF-Quellen. Abschlussbericht 31. August 2007. Bergische Universität Wuppertal. Wuppertal. www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_090_AB.pdf (22.10.2020)
- Hansen, V.; Mbonjo, H.; Streckert, J.; Zhou, Y. (2007b): Untersuchung des Einflusses von Antennen- und Gerätetopologien von körpernah betriebenen drahtlosen Kommunikationsendgeräten auf die von diesen verursachten SAR-Werte. Abschlussbericht zum 31. Oktober 2007. Bergische Universität Wuppertal. Wuppertal. www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_091_AB.pdf (22.10.2020)
- Hardell, L. (2017): World Health Organization, radiofrequency radiation and health – a hard nut to crack (Review). *International journal of oncology* 51(2), S.405–413
- Hardell, L.; Carlberg, M. (2019): Comments on the US National Toxicology Program technical reports on toxicology and carcinogenesis study in rats exposed to whole-body radiofrequency radiation at 900 MHz and in mice exposed to whole-body radiofrequency radiation at 1,900 MHz. *International journal of oncology* 54(1), S.111–127



- Hardell, L.; Mild, K.; Carlberg, M.; Hallquist, A. (2004): Cellular and cordless telephone use and the association with brain tumors in different age groups. *Archives of environmental health* 59(3), S. 132–137
- Hayon, D. (2020): Telekom, Vodafone und O2 schalten UMTS-Netz ab: So sieht der Plan für den 3G-Exit aus. *Chip*, 14.5.2020, www.chip.de/news/Telekom-Vodafone-und-O2-schalten-UMTS-Netz-ab-So-sieht-der-Fahrplan-fuer-die-3G-Abschaltung-aus_160804410.html (15.10.2020)
- Health Council of the Netherlands (2011): Influence of radiofrequency telecommunication signals on children's brains. Den Haag, <https://www.healthcouncil.nl/documents/advisory-reports/2011/10/18/influence-of-radiofrequency-telecommunication-signals-on-children%E2%80%99s-brains> (22.10.2020)
- Heinrich, S.; Thomas, S.; Heumann, C.; von Kries, R.; Radon, K. (2010): Association between exposure to radiofrequency electromagnetic fields assessed by dosimetry and acute symptoms in children and adolescents: a population based cross-sectional study. *Environmental health* 9(1), S. 75
- Heinrich, S.; Thomas, S.; Heumann, C.; von Kries, R.; Radon, K. (2011): The impact of exposure to radio frequency electromagnetic fields on chronic well-being in young people – A cross-sectional study based on personal dosimetry. *Environment international* 37(1), S. 26–30
- Högg, R.; Dürrenberger, G. (2017): Divergierende Risikobewertung im Bereich Mobilfunk – Vorhaben FM 8865. Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz. Bundesamt für Strahlenschutz (Hg.). Salzgitter, http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2017050314269/3/BfS_2017_FM8865.pdf (26.9.2019)
- Hug, K.; Achermann, P.; Dürrenberger, G.; Kuster, N.; Mevissen, M.; Schär, P.; Rösli, M. (2014): Beurteilung der Evidenz für biologische Effekte schwacher Hochfrequenzstrahlung. Basel, www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/elektrosmog/externe-studien-berichte/beurteilung_der_evidenzfuerbiologischeschwachhochfrequenzstrahlung.pdf.download.pdf/beurteilung_der_evidenzfuerbiologischeschwachhochfrequenzstrahlung.pdf (22.10.2020)
- Huss, A.; van Eijsden, M.; Guxens, M.; Beekhuizen, J.; van Strien, R.; Kromhout, H.; Vrijkotte, T.; Vermeulen, R. (2015): Environmental Radiofrequency Electromagnetic Fields Exposure at Home, Mobile and Cordless Phone Use, and Sleep Problems in 7-Year-Old Children. *PloS one* 10(10), DOI: 10.1371/journal.pone.0139869
- Huss, J. (2011): The potential dangers of electromagnetic fields and their effect on the environment. Report Committee on the Environment, Agriculture and Local and Regional Affairs, Parliamentary Assembly of the Council of Europe (Hg.), <http://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/X2H-Xref-ViewPDF.asp?FileID=13137&lang=en> (18.9.2020)
- IARC Monographs Advisory Group (2019): Advisory Group recommendations on priorities for the IARC Monographs. *The Lancet Oncology* 20(6), S. 763–764
- IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2013): Non-Ionizing Radiation. Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields. Lyon, France (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 102). https://publications.iarc.fr/_publications/media/download/3143/6464cac7e8eca3fa20f11d4d134613e4870158c5.pdf (23.10.2019)
- ICNIRP (1998): ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). International Commission

- on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Physics 74(4), S.494–522, www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf (22.10.2020)
- ICNIRP (2008): Statutes of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection e. V. Approved at the Commission Meeting, in Rio de Janeiro, 13.–14. Oktober 2008. www.icnirp.org/cms/upload/doc/statutes.pdf (24.9.2020)
- ICNIRP (2009): ICNIRP Statement on the »Guidelines for Limiting Exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic Fields (Up To 300 Ghz)«. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Physics, 97(3), S. 257–258
- ICNIRP (2010): ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Physics 99(6), S. 818–836
- ICNIRP (2019): ICNIRP Note: Critical Evaluation of Two Radiofrequency Electromagnetic Field Animal Carcinogenicity Studies Published in 2018. Health Physics, S. 525–532
- ICNIRP (2020): Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). Health Physics, 118(5), S. 483–524
- ICNIRP (1998): ICNIRP GUIDELINES. For Limiting Exposure To Time-Varying Electric, Magnetic And Electromagnetic Fields (Up To 300 Ghz). Health Physics 74(4), S. 494–522
- IRGC (2017a): Introduction to the IRGC Risk Governance Framework. Revised Version 2017. EPFL International Risk Governance Center, Lausanne (Hg.), <https://infoscience.epfl.ch/record/233739/files/IRGC.%20%282017%29.%20An%20introduction%20to%20the%20IRGC%20Risk%20Governance%20Framework.%20Revised%20version.pdf> (19.3.2020)
- IRGC (2017b): IRGC Guidelines for the Governance of Systemic Risks. <https://irgc.org/risk-governance/systemic-risks/guidelines-governance-systemic-risks-context-transitions/> (3.4.2020)
- Israel Ministry of Health (2019): Mobile Phone Radiation. www.health.gov.il/English/Topics/radiation/cell_phone/Pages/default.aspx (22.10.2020)
- IZMF (2015): Systematische Erfassung der Hochfrequenz-Exposition im Alltag. Messbroschüre. Informationszentrum Mobilfunk e. V. Berlin
- Jedrychowski, W.; Perera, F.; Jankowski, J.; Mrozek-Budzyn, D.; Mroz, E.; Flak, E.; Edwards, S.; Skarupa, A.; Lisowska-Miszczuk, I. (2009): Very low prenatal exposure to lead and mental development of children in infancy and early childhood: Krakow prospective cohort study. Neuroepidemiology 32(4), S. 270–278
- Jordan, M. (2018): Daimler verzichtet vorerst auf induktive Ladefunktion. Mercedes-Benz Passion Blog, 7.9.2018, <https://blog.mercedes-benz-passion.com/2018/09/daimler-verzichtet-vorerst-auf-induktive-ladenfunktion/> (15.10.2020)
- Kabali, H.; Irigoyen, M.; Nunez-Davis, R.; Budacki, J.; Mohanty, S.; Leister, K.; Bonner, R. (2015): Exposure and Use of Mobile Media Devices by Young Children. Pediatrics 136(6), S. 1044–1050
- Kastenhofer, K. (2015): Die Rekonstruktion idealtypischer Nichtwissenkulturen: Beispiele aus der Risikoforschung zu Grüner Gentechnik und Mobilfunk. In: Wehling, P., Bösch, S. (Hg.): Nichtwissenskulturen und Nichtwissensdiskurse. Über den Umgang mit Nichtwissen in Wissenschaft und Öffentlichkeit. Baden-Baden, S. 63–117
- Kastenhofer, K.; Mesbahi, K.; Schaber, F. (2020): 5G-Mobilfunk und Gesundheit. Die aktuelle Einschätzung des Evidenzstandes zu möglichen Gesundheitsrisiken von



- elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks durch anerkannte wissenschaftliche Gremien. Projektbericht Nr.: ITA-AIT-11. Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) Hg.). <http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte/ITA-AIT-11.pdf> (15.10.2020)
- KBV (2019): Altersgruppen. Kassenärztliche Bundesvereinigung (Hg.). www.kbv.de/tools/ebm/html/4.3.5_162395004446927562274884.html (22.10.2020)
- Kilic, A.; Sari, E.; Yucel, H.; Oğuz, M.; Polat, E.; Acoglu, E.; Senel, S. (2019): Exposure to and use of mobile devices in children aged 1–60 months. *European journal of pediatrics* 178(2), S. 221–227
- Klose, M. (2015): Tumorpromotion durch hochfrequente elektromagnetische Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen – synergistische Wirkungen –. Vorhaben 3611S30017. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (Hg.). Salzgitter, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2015031812720> (28.2.2020)
- Krause, C.; Haarala Björnberg, C.; Pesonen, M.; Hulten, A.; Liesivuori, T.; Koivisto, M. et al. (2006): Mobile phone effects on children's event-related oscillatory EEG during an auditory memory task. *International journal of radiation biology* 82(6), S. 443–450
- Krzossa, T. (2019): Das erste 5G-Handy-Netz ist da: Ab morgen auf den Smartphones. Vodafone Newsroom, 16.7.2019, www.vodafone.de/newsroom/netz/5g-start-vodafone-startet-5g-in-deutschland/?icmp=ne (22.10.2020)
- Kühling, W. (2019): Wie umgehen mit dem Stand wissenschaftlicher Erkenntnis. Biologische Wirkungen des Mobilfunks. <https://kompetenzinitiative.com/mainz-2019/> (28.2.2020)
- Kühn, S.; Cabot, E.; Christ, A.; Capstick, M.; Leubler, C.; Kuster, N.; Slamezka, M.; Balzano, Q.; Balzano, P. (2008): Bestimmung von SAR-Werten bei der Verwendung von Headsets für Mobilfunktelefone. Abschlussbericht StSch4526 vom Juli 2008. ITIS Foundation, Zürich. www.emf-forschungsprogramm.de/home/akt_emf_forschung.html/dosi_HF_002_AB.pdf (22.10.2020)
- Kühn, S.; Lott, U.; Kramer, A.; Kuster, N. (2005): Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Radiation from Wireless Devices in Home and Office Environments. ITIS Foundation. www.who.int/peh-emf/meetings/archive/bsw_kuster.pdf (22.10.2020)
- Kwon, M.; Huottilainen, M.; Shestakova, A.; Kujala, T.; Näätänen, R.; Hämäläinen, H. (2010): No effects of mobile phone use on cortical auditory change-detection in children: an ERP study. *Bioelectromagnetics* 31(3), S. 191–199
- Lee, A.-K.; Kwon, J.-H. (2015): Children's Mobile Phone Use and Dosimetry. *Journal of electromagnetic engineering and science* 15(3), S. 167–172
- Lee, T.; Ho, S.; Tsang, L.; Yang, S.; Li, L.; Chan, C.; Yang, S. (2001): Effect on human attention of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones. *Neuroreport* 12(4), S. 729–731
- Lerchl, A. (2008): Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf die metabolische Umsatzrate im Tiermodell (Labornager). Abschlussbericht. Jacobs-University Bremen. www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/biologie/biologie_abges/bio_041_AB.pdf (22.10.2020)
- Lerchl, A. (2018): Synergistische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen – Kokanzerogenität oder Tumorpromotion? Vorhaben 3615S82431. Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (Hg.), Salzgitter (BfS-RESFOR, 130/18). <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018011014465> (22.10.2020)

- Lerchl, A.; Klose, M.; Grote, K.; Wilhelm, A.; Spathmann, O.; Fiedler, T.; Streckert, J.; Hansen, V.; Clemens, M. (2015): Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans. *Biochemical and biophysical research communications* 459(4), S. 585–590
- Leung, S.; Croft, R.; McKenzie, R.; Iskra, S.; Silber, B.; Cooper, N.; O'Neill, B.; Cropley, V.; Diaz-Trujillo, A.; Hamblin, D.; Simpson, D. (2011): Effects of 2G and 3G mobile phones on performance and electrophysiology in adolescents, young adults and older adults. *Clinical Neurophysiology* 122(11), S. 2203–2216
- Lewicki, L. (2017): Impact of 5G technology on human exposure. ITU-T Workshop on 5G, EMF & Health. International Telecommunication Union. Warschau, 5.12.2017. www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/20171205/Documents/Fryderyk_Lewicki.pdf (8.9.2020)
- Lin, J. (2019): Memory Function and Cell Phone Microwave Exposure in Youngsters [Health Matters]. *IEEE Microwave* 20(2), S. 16–20
- Lindholm, H.; Alanko, T.; Rintamäki, H.; Kännälä, S.; Toivonen, T.; Sistonen, H. et al. (2011): Thermal effects of mobile phone RF fields on children: A provocation study. *Progress in biophysics and molecular biology* 107(3), S. 399–403
- Liu, J.; Chen, Y.; Gao, D.; Jing, J.; Hu, Q. (2014): Prenatal and postnatal lead exposure and cognitive development of infants followed over the first three years of life: a prospective birth study in the Pearl River Delta region, China. *Neurotoxicology* 44, S. 326–334
- Loughran, S.; Benz, D.; Schmid, M.; Murbach, M.; Kuster, N.; Achermann, P. (2013): No increased sensitivity in brain activity of adolescents exposed to mobile phone-like emissions. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology* 124(7), S. 1303–1308
- Loughran, S.; Verrender, A.; Dalecki, A.; Burdon, C.; Tagami, K.; Park, J.; Taylor, N.; Croft, R. (2019): Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure and the Resting EEG: Exploring the Thermal Mechanism Hypothesis. *International journal of environmental research and public health* 16(9), S. 1505
- Markov, M.; Grigoriev, Y. (2015): Protect children from EMF. *Electromagnetic biology and medicine* 34(3), S. 251–256
- Melnick, R. (2019): 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. *Environmental research* 168, S. 1–6
- Meskens, G. (2019): The politics of hypothesis: an inquiry into the ethics of scientific assessment. In: Zölzer, F., Meskens, G. (Hg.): *Environmental Health Risks: Ethical Aspects*. New York, S. 26
- Milde-Busch, A.; von Kries, R.; Thomas, S.; Heinrich, S.; Straube, A.; Radon, K. (2010): The association between use of electronic media and prevalence of headache in adolescents: results from a population-based cross-sectional study. *BMC Neurology* 10(1), S. 12
- Missling, S.; Riel, A.; Wuschek, M.; Reidenbach, H.-D.; Weiskopf, D. (2016): Internationaler Vergleich der rechtlichen Regelungen im nichtionisierenden Bereich. Band 1: Ländervergleich der Regelungen für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (0Hz – 300 GHz). Vorhaben 3614S80010. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (Hg.), Salzgitter, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2016021914007> (18.3.2020)



- Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J.; Altman, D.; The PRISMA Group (2009): Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. In. *PLoS medicine* 6(7), e1000097
- Morris, R.; Morgan, L.; Davis, D. (2015): Children Absorb Higher Doses of Radio Frequency Electromagnetic Radiation From Mobile Phones Than Adults. *IEEE Access* 3, S. 2379–2387
- Mortazavi, S.; Atefi, M.; Kholghi, F. (2011): The Pattern of Mobile Phone Use and Prevalence of Self-Reported Symptoms in Elementary and Junior High School Students in Shiraz, Iran. *Iranian Journal of Medical Sciences* 36(2), S. 96–103
- Movvahedi, M.; Tavakkoli-Golpayegani, A.; Mortazavi, S.; Haghani, M.; Razi, Z.; Shojai-fard, M.; Zare, M.; Mina, E.; Mansourabadi, L.; Nazari-Jahromi; Safari, A.; Shokrpour, N.; Mortazavi, S. (2014): Does exposure to GSM 900 MHz mobile phone radiation affect short-term memory of elementary school students? *Journal of Pediatric Neurosciences* 9(2), S. 121–124
- Nam, K.C.; Kim, S.W.; Kim, S.C.; Kim, D.W. (2006): Effects of RF exposure of teenagers and adults by CDMA cellular phones. *Bioelectromagnetics* 27(7), S. 509–514
- Narayanan, S.; Kumar, R.; Karun, K.; Nayak, S.; Bhat, P. (2015): Possible cause for altered spatial cognition of prepubescent rats exposed to chronic radiofrequency electromagnetic radiation. *Metabolic brain disease* 30(5), S. 1193–1206
- National Center for Biotechnology Information (NCBI) (2019): MeSH term »aged«. www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/68000368 (22.10.2020)
- National Toxicology Program (2015a): OHAT Risk of Bias Rating Tool for Human and Animal Studies. Office of Health Assessment and Translation (Hg.), https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/ohat/pubs/riskofbiastool_508.pdf (22.10.2020)
- National Toxicology Program (2015b): Handbook for Conducting a Literature-Based Health Assessment Using OHAT Approach for Systematic Review and Evidence. Office of Health Assessment and Translation. https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/ohat/pubs/handbookjan2015_508.pdf (22.10.2020)
- National Toxicology Program (2018): 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. North Carolina, https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/lt_rpts/tr595_508.pdf (22.10.2020)
- Nationale Plattform Elektromobilität (2017): Die Deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität 2020. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (Hg.), Berlin, http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Publikationen/NormungsRoadmap_Elektromobilitaet_2020_bf.pdf (22.10.2020)
- Negovetic, S.; Regel, S.J. (2011): Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit. Programmsynthese Nationales Forschungsprogramm NFP 57. Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Hg.), Bern. www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/nfp/nfp57/nfp57_synthese_d.pdf (26.6.2020)
- OECD (2014): Recommendation of the Council on the Governance of Critical Risks. Meeting of the OECD Council at Ministerial Level. Paris. www.oecd.org/gov/risk/Critical-Risks-Recommendation.pdf (2.9.2020)
- OnePoll (2017): Welche Form von WLAN nutzen Sie zuhause? [Umfrage] Reichelt Elektronik (Hg.), Statista, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/733835/umfrage/umfrage-zur-form-der-wlan-nutzung/> (9.1.2018)

- Papadopoulou, E.; Haugen, M.; Schjølberg, S.; Magnus, P.; Brunborg, G.; Vrijheid, M.; Alexander, J. (2017): 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* 17(1):685
- Petermann, K. (2013): Hochfrequenztechnik 1 – Lineare Antennen. Technische Universität Berlin, www.hft.tu-berlin.de/fileadmin/fg154/HFT/Skript/HFTI/LA.pdf (22.10.2020)
- Petri, A.-K.; Schmiedchen, K.; Stunder, D.; Dechent, D.; Kraus, T.; Bailey, W.; Driesen, S. (2017): Biological effects of exposure to static electric fields in humans and vertebrates: a systematic review. *Environmental health* 16(1):41
- Pophof, B. (2014): Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf die männliche Fruchtbarkeit: Bewertende Literaturübersicht. Bundesamt für Strahlenschutz/Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit (BfS) Hg.), Salzgitter, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2014031911368> (22.10.2020)
- Preece, A.; Goodfellow, S.; Wright, M.; Butler, S.; Dunn, E.; Johnson, Y.; Hunt, T.; Wesness, K. (2005): Effect of 902 MHz mobile phone transmission on cognitive function in children. *Bioelectromagnetics Suppl* 7, S. 138–143
- Preiner, P.; Schmid, G.; Lager, D.; Georg, R. (2006): Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN-Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten. Abschlussbericht November 2006. ARC Seibersdorf research GmbH. Seibersdorf. www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie-abges/dosi_017_AB.pdf (22.10.2020)
- QInside (2018): Wie funktioniert kabelloses Laden? Die Basis bildet das Induktionsprinzip. Nitz engineering GmbH (Hg.), Brixen, www.qinside.biz/de/support/wie-funktioniert-kabelloses-laden (22.10.2020)
- Radiocommunication Sector of ITU (ITU-R) (2015): IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. M Series Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services. Recommendation ITU-R M.2083-0. International Telecommunication Union (ITU-R M.2083-0). www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!MSW-E.docx (22.10.2020)
- RAL (2017): Vergabegrundlage für Umweltzeichen. Mobiltelefone – RAL-UZ 106. Ausgabe Juli 2017. RAL gGmbH (Hg.), Bonn, <https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20106-201302-de%20Kriterien.pdf> (22.10.2020)
- Redmayne, M.; Johansson, O. (2015): Radiofrequency exposure in young and old: different sensitivities in light of age-relevant natural differences. *Reviews on environmental health* 30(4), S. 323–335
- Redmayne, M.; Smith, C.; Benke, G.; Croft, R.; Dalecki, A.; Dimitriadis, C.; Kaufmann, J.; Macleod, S.; Sim, M.; Wolfe, R.; Abramson, M.J. (2016): Use of mobile and cordless phones and cognition in Australian primary school children: a prospective cohort study. *Environmental health* 15(1):26
- Redmayne, M.; Smith, E.; Abramson, M. (2013): The relationship between adolescents' well-being and their wireless phone use: a cross-sectional study. *Environmental health* 12:90
- Reszel, Wolfgang (2017): Disneys Magnetfeld-Raum soll Geräte drahtlos mit Strom versorgen. Heise Online, 19.2.2017, www.heise.de/newsticker/meldung/Disneys-



- Magnetfeld-Raum-soll-Geraete-drahtlos-mit-Strom-versorgen-3630509.html (9.1.2018)
- Riddervold, I.; Pedersen, G.; Andersen, N.; Pedersen, A.; Andersen, J.; Zachariae, R.; Mølhav, L.; Sigsgaard, T.; Kjaergaard, S. (2008): Cognitive function and symptoms in adults and adolescents in relation to rf radiation from UMTS base stations. *Bioelectromagnetics* 29(4), S. 257–267
- Risikokommission (2003): ad hoc-Kommission »Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland«. Salzgitter, <https://www.gerd-winter.jura.uni-bremen.de/abschlussberichtadhockommission.pdf> (5.4.2022)
- Van Rongen, E. (2004): Eric van Rongen comments. *Bioelectromagnetics* 25(5), S. 323
- Roser, K.; Schoeni, A.; Rösli, M. (2016): Mobile phone use, behavioural problems and concentration capacity in adolescents: A prospective study. *International journal of hygiene and environmental health* 219(8), S. 759–769
- RP Online (2017): IFA 2017 – Trends bei Hausgeräten immer schöner, immer schlauer. *Rheinische Post*, 28.8.2017, www.rp-online.de/digitales/neuheiten/ifa/ifa-2017-trends-bei-hausgeraeten-immer-schoener-immer-schlauer-aid-1.7041011, (22.10.2020)
- Sage, C.; Burgio, E. (2018): Electromagnetic Fields, Pulsed Radiofrequency Radiation, and Epigenetics: How Wireless Technologies May Affect Childhood Development. *Child development* 89(1), S. 129–136
- Salman, N.; Rasool, I.; Kemp, A.H. (2010): Overview of the IEEE 802.15.4 standards family for Low Rate Wireless Personal Area Networks. Rodrigo C. de Lamare (Hg.): ISWCS'10. Proceedings of the 2010 7th International Symposium on Wireless Communications Systems. York, University of York. IEEE, S. 701–705
- Sauter, C.; Eggert, T.; Dorn, H.; Danker-Hopfe, H. (2014): Literaturübersicht im Rahmen des Projekts: Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Personen beider Geschlechter – Vorhaben 3613S30012. Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2014121212043/3/BfS_2014_3613S30012.pdf (25.2.2020)
- SCENIHR (2009a): Stellungnahme vom 6. Juli 2009 »Forschungsbedarf und Methodik zur Behebung der verbleibenden Wissenslücken über die potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen von EMF«. European Commission (Hg.), Brüssel
- SCENIHR (2009b): Health Effects of Exposure to EMF. DG for Health and Consumers. European Commission (Hg.), Brüssel
- SCENIHR (2015): Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). European Commission (Hg.), Luxemburg
- Schmid, A. (2018): Induktives Laden: Autobranche kämpft gegen Kabelsalat. BMW, Kia und Continental arbeiten am induktiven Laden. Die ersten Modelle können bereits auf Ladekabel verzichten – und auch der Wirkungsgrad wächst. *Edison*, 15.5.2018, <https://edison.handelsblatt.com/erleben/induktives-laden-autobranche-kaempft-gegen-kabelsalat/21268682.html> (22.10.2020)
- Schmid, G.; Cecil, S.; Petric, B.; Neubauer, G.; Pérez L. (2008): Bestimmung der Exposition durch Ultra-Wideband Technologien. Austrian Research Centers GmbH – ARC. Seibersdorf. www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_092_AB.pdf (22.10.2020)

- Schmid, G.; Lager, D.; Preiner, P.; Überbacher, R.; Neubauer, G.; Cecil, S. (2005): Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren in Haushalt und Büro. Abschlussbericht Juli 2005. ARC Seibersdorf research GmbH. Seibersdorf. www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_030_AB.pdf (22.10.2020)
- Schmid, G.; Überbacher, R.; Cecil, S.; Petric, B.; Göth, P. (2009): Bestimmung der Exposition durch Magnetfelder alternativer Antriebskonzepte – Vorhaben 3608 S04574. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben SL-LE-0004/09 im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS), Salzgitter. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2009082182> (22.10.2020)
- Schmiedchen, K.; Petri, A.-K.; Driessen, S.; Bailey, W. (2018): Systematic review of biological effects of exposure to static electric fields. Part II: Invertebrates and plants. *Environmental research* 160, S. 60–76
- Schoeni, A.; Roser, K.; Bürgi, A.; Rössli, M. (2016): Symptoms in Swiss adolescents in relation to exposure from fixed site transmitters: a prospective cohort study. *Environmental health* 15(1):77
- Schoeni, A.; Roser, K.; Rössli, M. (2017): Symptoms and the use of wireless communication devices. A prospective cohort study in Swiss adolescents. *Environmental research* 154, S. 275–283
- Schoeni, A.; Roser, K.; Rössli, M. (2015): Memory performance, wireless communication and exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A prospective cohort study in adolescents. *Environment international* 85, S. 343–351
- Schraven, S.; Kley, F.; Wietschel, M. (2010): Working Paper Sustainability and Innovation. No. S 8/2010: Induktives Laden von Elektromobilen – Eine techno-ökonomische Bewertung. Fraunhofer ISI, Karlsruhe. https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2010/WP8-2010_Induktive-Ladung-EV.pdf (22.10.2020)
- Shankland, S. (2019): Apple built UWB into the iPhone 11. Here's what you need to know (FAQ). Ultra wideband wireless technology will precisely pinpoint your location. CNet, 14.9.2019, www.cnet.com/news/apple-built-uwb-into-the-iphone-11-heres-what-you-need-to-know-faq/ (22.10.2020)
- Sienkiewicz, Z.; Schüz, J.; Poulsen, A.; Cardis, E. (2012): Risk analysis of human exposure to electromagnetic fields (revised). Deliverable Report D2 of EHFRAN project. https://webgate.ec.europa.eu/chafea_pdb/assets/files/pdb/20081106/20081106-d1-d9_en_ps.pdf (8.1.2020)
- Simkó, M.; Remondini, D.; Zeni, O.; Scarfi, M. (2016): Quality Matters: Systematic Analysis of Endpoints Related to »Cellular Life« in Vitro Data of Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure. In: *International journal of environmental research and public health* 13(7), DOI: 10.3390/ijerph13070701
- SNF (2011): Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit. Programmsynthese Nationales Forschungsprogramm NFP 57. Unter Mitarbeit von Negovetic, S.; Regel, S.; Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Bern. www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/nfp/nfp57/nfp57_synthese_d.pdf (8.1.2020)
- Spathmann, O.; Statnikov, K.; Zang, M.; Saviz, M.; Fiedler, T.; Hansen, V.; Streckert, J. (2014): Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Bestimmung der Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung mit Frequenzen im Terahertzbereich – Vorhaben 3610S80001. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (Hg.), Salzgitter, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2014111011856> (26.2.2020)



- SSK (2001): Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern. Verabschiedet in der 173. Sitzung der SSK am 4. Juli 2001. Strahlenschutzkommission, Bonn. www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2001/Grenzwerte_EMF.pdf?jsessionid=A17F0766A8A1B0C825F2BA829D8EC2A6.1_cid339?__blob=publicationFile (22.10.2020)
- SSK (2007): Grundsätze bei der Ableitung von Emissionsstandards bei gleichzeitig betriebenen Feldquellen. Verabschiedet in der 214. Sitzung der SSK am 23. Februar 2007. Strahlenschutzkommission, Bonn. www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2007/Emissionsstandards_Feldquellen.pdf?__blob=publicationFile (22.10.2020)
- SSK (2008): Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 223. Sitzung der SSK am 13.5.2008. Strahlenschutzkommission, Bonn. www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2008/Mobilfunk_Forschungsprogramm.pdf?__blob=publicationFile (22.10.2020)
- SSK (2010): Moderne Lichtquellen. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 242. Sitzung der SSK am 1./2. Juli 2010. Strahlenschutzkommission, Bonn. www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2010/2010_06.pdf?__blob=publicationFile (6.11.2017)
- SSK (2011): Biologische Auswirkungen des Mobilfunks Gesamtschau. Strahlenschutzkommission (SSK). Verabschiedet in der 250. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 29./30.11.2011. Strahlenschutzkommission, Bonn. www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2011/2011_10.html?jsessionid=FC4D216CFD080D7B5169C496D4167B5D.2_cid391?nn=2041716 (22.10.2020)
- SSK (2013): Elektromagnetische Felder neuer Technologien. Statusbericht der Strahlenschutzkommission (SSK). Verabschiedet auf der 262. Sitzung der SSK am 11./12. Juli 2013. Strahlenschutzkommission, Bonn. www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2013/Statusbericht_EMF.pdf?__blob=publicationFile (22.10.2020)
- SSM's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields (2009): Recent Research on EMF and Health Risks. Sixth annual report from SSM:s independent Expert Group on Electromagnetic Fields 2009. Swedish Radiation Safety Authority (SSM). Stockholm (2009:36). www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/921664c245584802811f517dbba81e7d/200936-recent-research-on-emf-and-health-risks.-sixth-annual-report-from-ssms-independent-expert-group-on-electromagnetic-fields-2009 (22.10.2020)
- SSM's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields (2010): Recent Research on EMF and Health Risk. Seventh annual report from SSM:s Independent Expert Group on Electromagnetic Fields, 2010. Swedish Radiation Safety Authority (SSM). Stockholm (2010:44). www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/63e6735284dc4634830c4dd6003d9b07/201044-recent-research-on-emf-and-health-risk-seventh-annual-report-from-ssms-independent-expert-group-on-electromagnetic-fields-2010 (22.10.2020)
- SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields (2013): Eight report from SSM:s Scientific Council on Electromagnetic Fields. Swedish Radiation Safety Authority (SSM). Stockholm (2013:19). www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/7f20edcd0b024940bca450d596568e30/201319-eighth-report-from-ssms-scientific-council-on-electromagnetic-fields (22.10.2020)

- SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields (2014): Recent Research on EMF and Health Risk. Ninth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2014. Swedish Radiation Safety Authority (SSM). Stockholm (2014:16). www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/08b2f497b3ad48cf9e29a1d0008e7d82/201416-recent-research-on-emf-and-health-risk-ninth-report-from-ssms-scientific-council-on-electromagnetic-fields-2014 (22.10.2020)
- SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields (2015): Recent Research on EMF and Health Risks. Tenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2015. Swedish Radiation Safety Authority (SSM). Stockholm (2015:19). www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/ee7b28e0fee04e80bc84c24663a004/201519-recent-research-on-emf-and-health-risk---tenth-report-from-ssms-scientific-council-on-electromagnetic-fields-2015 (22.10.2020)
- SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields (2016): Recent Research on EMF and Health Risk. Eleventh report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Field, 2016. Scientific Council on Electromagnetic Fields (SSM). Stockholm (2016:15). www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/98d67d9e3301450da4b8d2e0f6107313/201615-recent-research-on-emf-and-health-risk-eleventh-report-from-ssms-scientific-council-on-electromagnetic-fields-2016 (22.10.2020)
- SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields (2018): Recent Research on EMF and Health Risk. Twelfth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2017. Swedish Radiation Safety Authority. Stockholm (2018:09). www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/f34de8333acd4ac2b22a9b072d9b33f9/201809-recent-research-on-emf-and-health-risk (22.10.2020)
- Statista (2019): Mobiltelefone. Hamburg. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/198642/umfrage/anteil-der-haushalte-in-deutschland-mit-einem-mobiltelefon-seit-2000/> (22.10.2020)
- Stewart, W. (2000): Mobile Phones and Health (The Stewart Report). Independent Expert Group On Mobile Phones (IEGMP). <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100910162959/www.iegmp.org.uk/report/text.htm> (22.10.2020)
- Stiftung Warentest (2009): Heiß, die kalte Platte. Kochfelder. test (9), S. 56–62
- Stiftung Warentest (2015): Die Nachtwache. Babyfone aller Art. test (05/2015), S. 52–59
- Stocker, Y. (2015): Akkus mit Induktion kabellos laden. Luzerner Stiftung für Umweltinformation (Hg.). umweltnetz-schweiz.ch, 26.10.2015, www.umweltnetz-schweiz.ch/themen/energie/2035-akkus-mit-induktion-kabellos-laden.html (22.10.2020)
- Sudan, M.; Birks, L.; Aurrekoetxea, J.; Ferrero, A.; Gallastegi, M.; Guxens, M. et al. (2018): Maternal cell phone use during pregnancy and child cognition at age 5 years in 3 birth cohorts. *Environment international* 120, S. 155–162
- Sudan, M.; Kheifets, L.; Arah, O.; Olsen, J.; Zeltzer, L. (2012): Prenatal and Postnatal Cell Phone Exposures and Headaches in Children. *The open pediatric medicine journal* 6(2012), S. 46–52
- Sudan, M.; Kheifets, L.; Arah, O.; Olsen, J. (2013): Cell phone exposures and hearing loss in children in the Danish National Birth Cohort. *Paediatric and perinatal epidemiology* 27(3), S. 247–257
- Sudan, M.; Olsen, J.; Arah, O.; Obel, C.; Kheifets, L. (2016): Prospective cohort analysis of cellphone use and emotional and behavioural difficulties in children. *Journal of Epidemiology and Community Health* 70(12), S. 1207–1213



- Technopolis (2015): Programme Evaluation Electromagnetic Fields & Health (EMF&H). Final Report 7 May 2015. ZonMw Programme Evaluation. Unter Mitarbeit von de Jongh, T.; Nooijen, A.; van Barneveld, J.; Zuijdam, F., www.zonmw.nl/fileadmin/documenten/Elektromagnetische_Velden_en_Gezondheid/Evaluation_report_EMF_H_by_Technopolis_2015.pdf (25.11.2019)
- Thomas, S.; Benke, G.; Dimitriadis, C.; Inyang, I.; Sim, M.; Wolfe, R.; Croft, R.; Abramson, M. (2010a): Use of mobile phones and changes in cognitive function in adolescents. *Occupational and Environmental Medicine* 67(12), S.861–866
- Thomas, S.; Heinrich, S.; von Kries, R.; Radon, K. (2010b): Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioural problems in Bavarian children and adolescents. *European journal of epidemiology* 25(2), S.135–141
- Tillmann, T.; Ernst, H.; Streckert, J.; Zhou, Y.; Taugner, F.; Hansen, V.; Dasenbrock, C. (2010): Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model. *International journal of radiation biology* 86(7), S.529–541
- Toledano, M.; Mutz, J.; Rösli, M.; Thomas, M.; Dumontheil, I.; Elliott, P. (2019): Cohort Profile: The Study of Cognition, Adolescents and Mobile Phones (SCAMP). *International journal of epidemiology* 48(1), 25–261
- Turner, M.; Gracia-Lavedan, E.; Momoli, F.; Langer, C.; Castaño-Vinyals, G.; Kundi, M.; Maule, M.; Merletti, F.; Sadetzki, S.; Vermeulen, R.; Albert, A. et al. (2019): Nonparticipation Selection Bias in the MOBI-Kids Study. *Epidemiology* 30(1), S.145–153
- U.S. Food and Drug Administration (01.11.2018): Statement from Jeffrey Shuren, M.D., J.D., Director of the FDA’s Center for Devices and Radiological Health on the National Toxicology Program’s report on radiofrequency energy exposure. www.fda.gov/news-events/press-announcements/statement-jeffrey-shuren-md-jd-director-fdas-center-devices-and-radiological-health-national (22.10.2020)
- Ulmer, S.; Bruse, M. (2006): Ergänzende Informationen über Elektrosensible. Demographie, Psychographie, Kommunikationsempfehlungen. Katalyse Institut für angewandte Umweltforschung. Köln, www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_abges/risiko_025_AB.pdf (22.10.2020)
- Vezzini, A. (2014): Batterie- und Ladetechnik – Heute und 2020. Berner Fachhochschule – Institut für Energie- und Mobilitätsforschung. www.voev.ch/fr/index.php?section=downloads&download=6796 (11.1.2018)
- Vigeh, M.; Yokoyama, K.; Matsukawa, T.; Shinohara, A.; Ohtani, K. (2014): Low level prenatal blood lead adversely affects early childhood mental development. *Journal of child neurology* 29(10), S.1305–1311
- Vijayalaxmi; P., Thomas J. (2012): Genetic damage in human cells exposed to non-ionizing radiofrequency fields: a meta-analysis of the data from 88 publications (1990-2011). *Mutation research* 749(1-2), S.1–16
- Vijayalaxmi; P., Thomas J. (2019): Comprehensive Review of Quality of Publications and Meta-analysis of Genetic Damage in Mammalian Cells Exposed to Non-Ionizing Radiofrequency Fields. *Radiation Research* 191(1), S.20–30
- Vrijheid, M.; Martinez, D.; Forns, J.; Guxens, M.; Julvez, J.; Ferrer, M.; Sunyer, J. (2010): Prenatal exposure to cell phone use and neurodevelopment at 14 months. *Epidemiology* 21(2), S.259–262

- Weißenberg, P. (2017): Immer mit grünem Balken unterwegs. Elektroautos. Zeit online, 26.7.2017. www.zeit.de/mobilitaet/2017-07/elektroautos-qualcomm-induktives-laden-batterie-kabel (22.10.2020)
- WHO (2003): Healthy Environments for Children: WHO Backgrounder N°3, April 2003. World Health Organization. www.who.int/world-health-day/previous/2003/press/backgrounder/en/ (22.10.2020)
- WHO (2006a): Framework for developing health-based electromagnetic field standards. Weltgesundheitsorganisation. Genf. [www.who.int/peh-emf/standards/EMF_standards_framework\[1\].pdf?ua=1](http://www.who.int/peh-emf/standards/EMF_standards_framework[1].pdf?ua=1) (22.10.2020)
- WHO (2006b): WHO Research Agenda for Radio Frequency Fields. www.who.int/peh-emf/research/rf_research_agenda_2006.pdf (15.8.2019)
- WHO (2010): WHO research agenda for radiofrequency fields. Genf. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44396/1/9789241599948_eng.pdf, (22.10.2020)
- WHO (2014): Elektromagnetische Felder und öffentliche Gesundheit: Mobiltelefone. Übersetzung Fact Sheet N° 193 der WHO »Electromagnetic fields and public health: mobile phones«. Weltgesundheitsorganisation (Fact Sheet N° 193). www.who.int/peh-emf/publications/facts/FS193_German_Aug2015.pdf?ua=1 (16.1.2020)
- WHO (2019): EMF research databases: Germany's EMF-Portal. www.who.int/peh-emf/research/database/en/ (22.10.2020)
- Wi-Fi Alliance (2018): Generational Wi-Fi® User Guide. www.wi-fi.org/download.php?file=/sites/default/files/private/Generational_Wi-Fi_User_Guide_20181003.pdf (22.10.2020)
- Wilkens, A. (2018): Induktives Laden: Mannheim will keine weiteren Primove-Elektrobusse. Seit drei Jahren sind in Mannheim zwei Elektrobusse unterwegs, die induktiv geladen werden. Das Projekt wird nicht ausgebaut. heise online, 29.5.2018, www.heise.de/newsticker/meldung/Induktives-Laden-Mannheim-will-keine-weiteren-Primove-Elektrobusse-4060084.html (22.10.2020)
- Witricity (2016): DRIVE 11 Evaluation System. Wireless charging for EV & PHEV Platforms. Watertown, http://witricity.com/wp-content/uploads/2018/02/DRIVE_11_20170221-1.pdf (22.10.2020)
- Witricity (2019): WiTricity Acquires Qualcomm Halo. Witricity, 11.2.2019, <https://witricity.com/witricity-acquires-qualcomm-halo/> (15.10.2020)
- Würth; infineon (2019): 200 W Development Kit. Wireless Power Transfer Extended Medium Power Solution. www.we-online.com/wirelesspower/200WKit (22.10.2020)
- Zahner, M.; Fröhlich, J.; Dürrenberger, G. (2017): Energieeffizienz und EMF-Immissionen von integrierten Induktionsladestationen. Schlussbericht, 20.10.2017/update. FSM – Forschungsförderung Strom und Mobilkommunikation. Zürich. www.emf.ethz.ch/fileadmin/redaktion/public/downloads/3_angebot/wissensvermittlung/studien_fachartikel/Wireless_Charging.pdf (22.10.2020)
- Zheng, F.; Gao, P.; He, M.; Li, M.; Tan, J.; Chen, D.; Zhou, Z.; Yu, Z.; Zhang, L. (2015): Association between mobile phone use and self-reported well-being in children: a questionnaire-based cross-sectional study in Chongqing, China. BMJ Open 5(5), e007302

8 Anhang

8.1 Ergänzungen, Erläuterungen und weitere Quellen zu Kapitel 4

Zum besseren Verständnis und zur besseren Lesbarkeit des Kapitels 4 sowie aus Gründen der ausführlichen und transparenten Darstellung der dargebotenen Erkenntnisse sind Detailergebnisse aus den diversen internationalen Forschungsprogrammen und Projekten in diesem umfangreichen Anhang (Kap. 8.1) zusammen mit einer Auflistung der relevanten Projekte und Literaturstellen (inklusive der diesbezüglich aus dem Englischen, Französischen und Niederländischen übersetzten Originalzitate) aufgeführt.

8.1.1 DMF und Folgeaktivitäten

Das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) wurde durch das Bundesumweltministerium (BMU) und das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) mit einer Laufzeit von 2002 bis 2008 initiiert. Über 50 Forschungsvorhaben aus den Bereichen »Biologie«, »Dosimetrie«, »Epidemiologie« und »Risikokommunikation« wurden durchgeführt. Ziel des DMF war es, offenen Fragen zu möglichen gesundheitlichen Risiken sowie zu grundsätzlichen biologischen Wirkungen und Mechanismen der beim Mobilfunk verwendeten HF-EMF wissenschaftlich belastbar nachzugehen. Die erzielten Ergebnisse sollten auch der Überprüfung der bestehenden Strahlenschutzmaßnahmen dienen. Zu diesem Zweck wurden insbesondere Studien initiiert, in denen Hinweisen auf biologische Effekte unterhalb der Grenzwerte nachgegangen wurde.

Die Nachfolgeaktivitäten des DMF begannen nach Ende des DMF-Hauptprogramms im Jahr 2008. Im vorliegenden Bericht werden darunter alle thematisch relevanten aus Bundesmitteln geförderten und zumeist vom BfS koordinierten bzw. durchgeführten Forschungsaktivitäten verstanden. Die Analyse durch die FSM (2017) umfasst die bis 2017 veröffentlichten.

8.1.1.1 Projektliste

DMF-Programm

1. Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen
2. Ergänzungsstudie zu Probanden der Querschnittsstudie
3. Validierung des Expositionssurrogats der Querschnittsstudie

4. Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen
5. Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation – Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen
6. Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen
7. Untersuchung des Phänomens »Elektrosensibilität« mittels einer epidemiologischen Studie an »elektrosensiblen« Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter
8. Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z.B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien
9. Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. A. Demodulation / Kommunikation
10. Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. B. Pinealdrüse
11. Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. C. Funktionen
12. in vitro – Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. C. Blut-Hirn-Schranke
13. Einfluss der Mobilfunkfelder auf die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke von Labornagern (in vivo)
14. in vivo – Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen
15. Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. A. Das Hörsystem
16. Möglicher Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung des Mobilfunks auf das Auslösen und den Verlauf von Phantomgeräuschen (Tinnitus)
17. Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. B. Das visuelle System
18. Untersuchung möglicher genotoxischer Effekte von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut
19. Einfluss von GSM Signalen auf isoliertes menschliches Blut. B. Differenzielle Genexpression
20. Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder
21. in vivo – Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. B. Kanzerogenese



22. Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen
23. Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf die metabolische Umsatzrate im Tiermodell (Labornager)
24. Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen
25. Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk- und Fernsehsendern
26. Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN – Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten
27. Bestimmung der Exposition der Personengruppen, die im Rahmen des Projektes »Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen« untersucht werden
28. Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren im Haushalt und Büro
29. Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern
30. Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen
31. Beteiligung an einer Fallkontrollstudie zu Aderhautmelanomen und Radiofrequenzstrahlung (RIFASTudie)
32. Erweiterungsstudie einer multinationalen epidemiologischen Studie des möglichen Zusammenhangs zwischen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung und dem Auftreten von Tumoren des Kopf- und Halsbereiches (Interphone-Studie)
33. Untersuchung der altersabhängigen Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter
34. Untersuchung zu der Fragestellung, ob makroskopische dielektrische Gewebeeigenschaften auch auf Zellebene bzw. im subzellulären Bereich uneingeschränkte Gültigkeit besitzen

Nachfolgestudien zum DMF-Programm

35. Altersabhängige Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf Entwicklungs- und Differenzierungsprozesse des Zentralnervensystems in juvenilen Labornagern
36. Tumorpromotion durch hochfrequente elektromagnetische Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen – synergistische Wirkungen
37. Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf menschliche Fibroblasten
38. Probandenstudie zur Untersuchung des Einflusses der für TETRA genutzten Signalcharakteristik auf kognitive Funktionen

39. Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf die männliche Fruchtbarkeit: Bewertende Literaturübersicht
40. Risiken elektromagnetischer Felder aus Sicht deutscher Allgemeinmediziner
41. Literaturübersicht im Rahmen des Projekts: Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Personen beider Geschlechter
42. Expositionen durch in Deutschland verwendete TETRA-Endgeräte: Modellierung der Verteilung von SAR-Werten im gesamten Körper und detailliert im Bereich des Kopfes unter besonderer Berücksichtigung der Augen
43. Ergänzende Analysen von Daten zur Exposition durch RFID Technologien aus FV 3609S80002 und Untersuchungen an Warensicherungsanlagen
44. Untersuchung des Einflusses von intrakorporalen Feldkomponenten an Gewebegrenzschichten bei der numerischen Bestimmung induzierter Feldstärkeverteilungen in hoch aufgelösten realistischen Computermodellen zur Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten
45. Systematische Erfassung aller Quellen nichtionisierender Strahlung, die einen relevanten Beitrag zur Exposition der Bevölkerung liefern können
46. Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Bestimmung der Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung mit Frequenzen im Terahertzbereich
47. Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken
48. Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio Frequency Identification (RFID) Technologien entstehen
49. Bestimmung der Exposition durch WiMAX
50. Bestimmung von SAR-Werten bei der Verwendung von Headsets für Mobilfunktelefone
51. Numerische Bestimmung der Spezifischen Absorptionsrate bei Ganzkörper Exposition von Kindern
52. Vermittlung von Informationen zum Strahlenschutz und deren Wahrnehmung in der Öffentlichkeit
53. Divergierende Risikobewertungen im Bereich Mobilfunk
54. Laiengerechte Kommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten im Bereich EMF
55. Differenzierte Betrachtung der Nutzung und der Wahrnehmung des Mobilfunks
56. Erstellung einer praxisorientierten Handreichung zur Beurteilung von Studienergebnissen für Mitarbeiter von Kommunalverwaltungen
57. Erstellung einer weiterführenden Broschüre als Ergänzung zur Handreichung der Beurteilung von Studienergebnissen
58. Untersuchung der Möglichkeiten des besseren Wissenstransfers/Wissensmanagements – im Hinblick auf das DMF-Forschungsprogramm – über



Generationen hinweg beziehungsweise über Themenzyklen / Aufmerksamkeitszyklen hinweg

59. Laiengerechte Kommunikation wissenschaftlicher Unsicherheiten im Bereich EMF
60. Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks (Umfrage 2009)
61. Differenzierte Betrachtung der Nutzung und der Wahrnehmung des Mobilfunks (Umfrage 2013)
62. Evaluierung des EMF-Portals und Ableitung von Erkenntnissen und Empfehlungen für dessen weitere Gestaltung
63. Erweiterungsstudie zur multinationalen Fallkontrollstudie zu Hirntumoren durch Radiofrequenzstrahlung bei Kindern und Jugendlichen (MOBI-KIDS)
64. Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro

Noch laufend (bis mindestens 2019)

65. Synergistische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen – Kokanzerogenität oder Tumorpromotion? [am 12.1.2018 wurde der Endbericht veröffentlicht: <https://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2018011014465>]
66. Weiterführende Untersuchungen zur Dosimetrie einer tierexperimentellen Studie an Labornagern mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern
67. Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer (22.10.2019) und Frauen (5.2.2019)
68. Bewertender Review zu der Frage der Übertragbarkeit von Ergebnissen aus benachbarten Frequenzbereichen und ähnlichen Technologien auf TETRA am Beispiel der Thermoregulation und deren Einflussfaktoren [Projekt ist abgeschlossen. Der wissenschaftlich gehaltene Abschlussbericht kann beim BfS angefordert werden: www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/stellungnahmen/emf/tetra.html]
69. Kosmetik, Wellness und die Gesundheit – EMF-Quellen außerhalb der Medizin [24.10.2018 veröffentlicht: <https://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2018102316605>]

8.1.1.2 Bewertung der Erkenntnisse gemäß Reviewberichten

Für einen Überblick über den aktuellen Wissensstand im Vergleich zum Ausgangspunkt »Stand DMF-Hauptprogramm« hat die FSM (2017) einschlägige Reviewberichte ausgewertet. Diese sind:

- > ANSES (ANSES 2013b, 2016b)
- > CH (SNF 2011)
- > EU (SCENIHR 2015; Sienkiewicz et al. 2012)
- > RoW (SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields 2016)
- > ZonMW (Technopolis 2015)

Die Zielsetzung von Reviewberichten ist es, die »balance of evidence« herauszuarbeiten: was sagen die bislang bekannten wissenschaftlichen Ergebnisse insgesamt hinsichtlich eines Effektes? Die FSM (2017) hat den Abgleich der in den Reviewberichten vorgenommenen Einschätzungen mit demjenigen zur Zeit des Abschlusses des DMF-Hauptprogramms als Ausgangspunkt für die in Kapitel 4 dargestellten Analysen genutzt (dazu und zum Folgenden FSM 2017, S. 35 ff.).

Die Tabelle 8.1 zeigt die Ergebnisse. Die Hintergrundfarben geben als Referenz die DMF-Einschätzungen wieder. Dort wo die Reviewberichte mit dem DMF übereinstimmen, sind die entsprechenden Felderfarben satt gesetzt (ohne Angabe der relevanten Reviewberichte). Dort wo sie abweichen, sind die Quellen (die Reviewberichte der einzelnen Programme) explizit gelistet und farblich markiert.

Folgende Einschätzungen des DMF haben gemäß FSM (2017) auch aktuell bestand: keine Effekte in Zellstudien hinsichtlich Genexpression als möglichen Wirkmechanismus (Z26); keine Effekte in Tierversuchen betreffend Embryonalentwicklung und Schädigung der Blut-Hirn-Schranke (T20); keine akuten gesundheitlichen Effekte auf Schlaf und Kognition (Ga10 und Ga12); widersprüchliche bzw. unklare Sachlage betreffend Krebsrisiko (Gc1).

17 im Schlussbericht des DMF-Programms als »Abwesenheit von Effekten« beurteilte Endpunkte, werden aufgrund neuerer Forschungsergebnisse in den Reviewberichten vorsichtiger bewertet. Dabei handelt es sich um die Endpunkte Z31, T1, T6, T10, T21, T31, T33, B12, Ga9, Ga11, Ga 12, Ga14, Ga29, Gc3, Gc6, Gc7, Gc29. In den meisten Fällen wird das aktuelle Wissen als inadäquat für eine klare Evidenzaussage angesehen, bzw. die Expertengremien publizierten so unterschiedliche Einschätzungen, dass keine Schlussfolgerungen gezogen werden können.



Tab. 8.1 Einschätzung von Reviewberichten

	Zell- studien	Tier- studien	Humanstudien		
			Biologie	Gesundheit akut	Gesundheit chronisch
Krebs		ANSES, EU, RoW			
<i>Tumore im Kopfbereich</i>					ANSES, EU, RoW
<i>Tumore bei Kindern</i>					ANSES, EU
<i>andere Tumore</i>					ANSES, EU
Neurodegeneration/ neuronale Erkrankun- gen	EU	ANSES, EU			ANSES, EU
Fertilität		ANSES, EU, RoW	ANSES, EU	EU	EU, RoW
Entwicklung			ANSES		RoW
kardiovaskulär/ Blutsystem		ANSES	ANSES, CH, EU	CH, EU	EU
EEG			ANSES, CH, EU, RoW	CH, EU, RoW	
Kognition		ANSES, EU	ANSES, CH, EU, RoW		
<i>Kinder</i>			DMF+, ANSES, ZonMW		
Schlaf		ANSES	ANSES, CH, EU, ZonMW		EU
<i>Kinder</i>			ANSES, ZonMW, EU	ZonMW	
unspezifische Symptome			ZonMW, EU	ANSES, CH, ZonMW, EU, RoW	CH, EU
<i>Nozeboeffekt</i>				ZonMW	
<i>Kinder</i>				ANSES, EU	
Hormone/Drüsen		EU	ANSES		

Melatonin					
Stressproteine/ Genexpression					
Blut-Hirn-Schranke					
Verhalten allg.		ANSES, EU	ANSES		
Kinder und Jugendliche			ANSES	ZonMW	EU
Wirkmechanismen		ANSES	ANSES	CH	CH
Genschädigung	CH, ZonMW, EU, RoW	EU, RoW			
Sauerstoffradikale		EU, RoW			EU
Genexpression					
Zellfunktionen/Memb- ran	CH				
anderes					
Kinder und Jugendliche allg.				CH	CH
ältere Menschen				CH	CH
Immunsystem	EU	ANSES, ZonMW	ANSES		
Metabolismus		ZonMW			
Sinne (Gehör, Netz- haut)		ANSES	ANSES, ZonMW	EU	
Zellen allg.	RoW				
Adaptive Response					

Effekt ausreichend
nachgewiesen

Effekt limitiert nach-
gewiesen

Effekt inadäquat
nachgewiesen*

kein Effekt nachge-
wiesen

ANSES (ANSES 2013b, 2016b); CH (SNF 2011); EU (SCENIHR 2015; Sienkiewicz et al. 2012); RoW (SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields 2016); ZonMW (Technopolis 2015)

Quelle: FSM 2017, S. 35

Die vom DMF-Programm 2008 als »inadäquate Evidenz« für eine klare Risiko-
aussage taxierten Endpunkte (Genschäden in Zellexperimenten [Z24], Effekte
auf kognitive Funktionen beim Menschen [B10], Tumore im Kopfbereich auf-
grund intensiver, langjähriger Mobiltelefonnutzung [Gc2]) werden heute von den
zitierten Expertenkomitees uneinheitlich beurteilt (Genschäden, Kognition). Im



Fälle des Hirntumorrisikos tendiert SCENIHR im Unterschied zu den anderen Reviewberichten zur Kategorie »limitierte Evidenz«.

Die Hinweise, dass HF-EMF das EEG beeinflussen kann (Ga9), haben sich durch die Reviewberichte bestätigt. Die Endpunkte, für die gemäß DMF-Hauptprogramm ausreichende Evidenz für einen Effekt vorlag (Einfluss auf Zellfunktionen [Z27], Veränderungen im Metabolismus von Versuchstieren [T32], Nozeboeffekte im Zusammenhang mit unspezifischen Symptomen [Ga15]) wurden in den Reviewberichten teilweise relativiert.

Die wichtigsten neuen Erkenntnisse auf Basis der Reviewberichte zu nicht vom DMF abgedeckten Endpunkten betreffen »Entwarnungen« in folgenden Bereichen: HF-EMF sind keine Ursache für unspezifische Gesundheitssymptome (B14, Gc14), keine akute Gefährdung der Sinnesorgane (Auge, Ohr) (Ga33), keine negative chronische Beeinflussung des Schlafs und des Verhaltens von Jugendlichen (Gc12, Gc22). Zu allen übrigen Endpunkten die in Reviewberichten diskutiert werden, liegen keine klaren Aussagen vor (Evidenzen für Effekte inadäquat oder limitiert).

8.1.2 Ergebnisse der Länderstudien

In diesem Anhang (Kap. 8.1) werden für die am Detail interessierten Leserinnen und Leser die Ergebnisse der Länderstudien vorgestellt, die die Grundlage der Auswertung im Kapitel 4 darstellen. In Kapitel 8.1.2.1 werden die von der FSM (2017) in der Analyse verwendeten und in den Kapiteln 4.1 und 4.2 ausführlich dargestellten methodischen Grundlagen kurz zusammengefasst. Daran anschließend fasst Kapitel 8.1.2.2 die Ergebnisse der betrachteten internationalen Forschungsprogramme in grafischen Darstellungen zusammen, wobei jedes Unterkapitel die Ergebnisse jeweils einer Länderstudie vorstellt.

8.1.2.1 Methodik und Darstellung der Ergebnisse

Wie im Kapitel 4 beschrieben analysierte die FSM (2017) zusätzlich zu den Erkenntnissen aus dem deutschen Forschungsprogramm und seinen Nachfolgeaktivitäten auch Studien und Publikationen von Forschungsprogrammen ausgewählter europäischer Länder sowie von europäischen Forschungsprogrammen (ab dem Jahr 2010 und bis zur Fertigstellung ihres Gutachtens Ende 2017). Folgende Länder bzw. Programme wurden dabei berücksichtigt:

- > Deutschland: Das DMF-Programm und Nachfolgeaktivitäten
- > Frankreich: Das PNREST-Programm der nationalen Agentur für Lebensmittel-, Umwelt- und Arbeitsschutz bzw. -sicherheit (ANSES);
- > Niederlande: Das EMF&H-Programm der niederländischen Organisation für Gesundheitsforschung und Pflegeinnovation (ZonMW);

- > Schweiz: das Nationale Forschungsprogramm »Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit« (NFP57) und die Aktivitäten der Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation (FSM);
- > Europäische Union: die über das 7. Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Kommission und des 2. Gesundheitsprogramm finanzierten Forschungsprojekte (letzteres mit Kürzel EFHRAN), sowie die Aktivitäten des von der EU-Kommission eingesetztes wissenschaftliches Beratungsgremium zu neu entstehenden und neu identifizierten Gesundheitsrisiken (SCENIHR).

Darüber hinaus wurden über 250 wissenschaftliche Publikationen (mehrheitlich ab dem Erscheinungsjahr 2010) aus anderen Regionen zusammengetragen. Aus den geförderten Forschungsprojekten wählte die FSM (2017) diejenigen Studien aus, die sich mit einer möglichen gesundheitlichen Belastung von hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung (HF-EMF) befassen, und zu denen zum Zeitpunkt der Erstellung des Gutachtens Ergebnisse vorlagen. Wichtige Erkenntnisse aus den »Expositionsprojekten« hat die FSM (2017) auch hier für jedes Land bzw. jeden geografischen Fokus eigens zusammengestellt.

Projektbefunde wurden über unterschiedliche Quellentypen zusammengetragen. Im Internet zugängliche Projektzusammenfassungen, Projektend- und -zwischenberichte, Synthese- und Evaluationsberichte der Förderprogramme, projektspezifische sowie wissenschaftliche Veröffentlichungen bilden die Basis der Auswertung. Jedes Unterkapitel stellt das genaue Vorgehen der jeweiligen länderspezifischen Analyse vor. Ergänzend zieht die FSM (2017) Bewertungen der jeweiligen Programmleitungen und/oder der relevanten länderspezifischen Bewertungsgremien heran, um den Stand des wissenschaftlichen Fortschritts für die Schnell-Leserinnen und -Leser darzustellen.

Wie Anfangs beschrieben kommen für die Bewertung möglicher gesundheitlicher Auswirkungen der EMF-Exposition von Menschen nur Studien in Betracht, die bestimmte Mindeststandards der wissenschaftlichen Qualität erfüllen. Dafür prüfte die FSM (2017) die Qualität der Quellen (Kap. 4.1.2). Keiner Qualitätsprüfung unterzogen wurden lediglich die Studien, die als Beurteilungsbasis für die Bewertung des seitdem erzielten Wissensfortschritts dienen. Auch sekundäre Quellen wurden nicht geprüft (z.B. Übersichtsartikel, Reviews, Projektberichte sowie Berichte von Experten- und Beratungsgremien).

Für die Evidenzbewertung der einzelnen Berichte und Studien wurden vier an das IARC-Klassifikationssystem angelehnte Kategorien definiert und jeweils einer Farbe zugewiesen.

Effekt ausreichend nachgewiesen
Effekt limitiert nachgewiesen
Effekt inadäquat nachgewiesen
kein Effekt nachgewiesen



Die grafische Darstellung der Ergebnisse in Kapitel 8.1 ist an der Darstellung der Ergebnisse des DMF-Programmes und seiner Nachfolgeaktivitäten angelehnt (Kap. 4.5). Die Projektergebnisse sind ihrem jeweiligen zugrundeliegenden Studientyp und betrachteten Endpunkt tabellarisch zugeordnet. Expositionsbefunde und Ergebnisse aus Projekten zu Risikokommunikation finden in der tabellarischen Darstellung der Ergebnisse keine Berücksichtigung.

Jeder in den entsprechenden Tabellenfeldern vorzufindende alphanumerische Identifikator eines Projekts bzw. jede Nummer einer Publikation steht für einen Studienbefund, welcher mit einem Zitat unter Eingabe der Erstautoren, Jahres- sowie Seitenzahl belegt wird. Diese Zitate befinden sich in der jeweiligen Zitatliste am Ende jedes Unterkapitels (Kap. 8.1.2.2 etc.). Fremdsprachige Zitate wurden von einer professionellen Übersetzerin ins Deutsche übersetzt. Jeder Eintrag ist entsprechend der entwickelten Evidenzkategorien farblich markiert. Mit wenigen Ausnahmen entsprechen die in der Tabelle verwendeten Zitatnummern den Projektnummern. Die Ausnahmen werden im Text erläutert.

Neben den farblich markierten Zitathinweisen befindet sich – falls vorhanden – die wissenschaftliche Globaleinschätzung der jeweiligen Programmleitungen und/oder relevanten Bewertungsgremien zu dem Endpunkt. Diese sind am Anfang der entsprechenden Zelle in eckigen Klammern vermerkt. Die Farbe der Tabellenzelle entspricht die Globaleinschätzung gemäß den Evidenzkategorien. Nummern in runden Klammern deuten auf qualitativ ungenügende Arbeiten hin.

Im Folgenden werden für jedes betrachtete Land bzw. für die Europäische Union und die weiteren analysierten Studien das jeweilige Forschungsprogramm charakterisiert. Daraufgehend erläutert der Text das Vorgehen bei der Analyse der wissenschaftlichen Befunde, der Bezüge zu Projekten und Belegzitate und Grundlagen für die wissenschaftliche Globaleinschätzung der jeweiligen Programmleitung oder Expertengremien. Eine Tabelle fasst die Ergebnisse wie zuvor beschrieben zusammen. Im Anschluss befindet sich die Liste der Belegzitate sowie weitere Zitate aus den identifizierten exposimetrischen und dosimetrischen Studien.

8.1.2.2 Frankreich: PNR EST

Charakterisierung des Forschungsprogramms

Die EMF-Forschung wird seit 2011 von der nationalen Agentur für Lebensmittel, Umwelt- und Arbeitsschutz bzw. -sicherheit ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) im Rahmen des nationalen Forschungsprogramms Programme National de Recherche Environnement-Santé-Travail (PNR EST) koordiniert (dazu und zum Folgenden FSM 2017, S.22). Seit 2013 wird das Thema »Radiofrequenzen und Gesundheit«

in einer spezifischen Projektausschreibung behandelt, um den Besonderheiten dieses Bereichs besser Rechnung zu tragen. Ziel des PNR EST ist es, Forschung und Expertenbewertung näher zusammenzubringen und die Forschungsgemeinschaft zum Thema »Radiofrequenzen und Gesundheit« zu erweitern. Das Programm ist stark auf Dosimetrie und Expositionsfragen fokussiert, untersucht aber auch EMF induzierte Effekte und Überempfindlichkeiten, was sich in der Liste der geförderten Studien zeigt. Bis zum Redaktionsschluss des Gutachtens der FSM (2017) wurden die folgenden 39 Projekte bewilligt:

- A1- Zelluläre Reaktionen auf die Exposition gegenüber Millimeterwellen (MMW)
- A2- In-vivo-Effekte von WiMAX- und LTE-Hochfrequenzsignalen
- A3- Bewertung der Auswirkungen von EMF aus dem Mobilfunk auf die Reproduktion bei Ratten
- A4- Studie über das sensorische System von Personen, die über elektromagnetische Hypersensibilität klagen
- A5- Definitionen von Indikatoren für die Charakterisierung der Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern
- A6- MOBI-KIDS: Kommunikationstechnologien, Umwelt und Hirntumore bei Jugendlichen⁹⁴
- A7- Machbarkeitsstudie in Frankreich zur COSMOS-Studie: »Internationale Kohortenstudie von Mobilfunktelefonnutzern und Gesundheit« (»International Cohort Study of Mobile Phone Users and Health«)
- A8- Analyse und Charakterisierung der Exposition von Kleinkindern gegenüber drahtlosen LTE-Kommunikationssystemen
- A9- Exposition von Fachleuten in Bibliotheken und Mediatheken gegenüber elektromagnetischen Feldern
- A10- Wirkung elektromagnetischer Felder des GSM-Standards auf Modelle zerebraler Vulnerabilität: Entwicklung und Neuroinflammation
- A11- Molekulare und zelluläre Analyse der Auswirkungen von Hochfrequenzen auf die Zellmembranen
- A12- Exposition von Kindern der Kohorte der französischen longitudinalen Studie seit der Kindheit (»Étude longitudinale française depuis l'enfance« – ELFE) gegenüber Hochfrequenzen
- A13- Elektrosensibilität: Machbarkeitsstudie
- A14- Physiologische Anpassungs- oder Vermeidungsreaktionen bei juvenilen Ratten, die Hochfrequenzwellen wie z. B. von Relaisantennen ausgesetzt sind
- A15- Charakterisierung der durch neue Anwendungen und Technologien von Mobilkommunikationssystemen induzierten Hochfrequenzexposition
- A16- Auswirkungen von 1800 MHz-GSM-Wellen auf Mikrogliazellen und Neurotransmission im Kontext der Neuroinflammation

⁹⁴ Dieses Projekt wurde über eine Ko-Finanzierung der Europäischen Union und verschiedener EU-Länder ermöglicht, und wird dementsprechend auch unter 8.1.2.5 erfasst.



- A17- Echtzeitstudie über die globalen zellulären Auswirkungen von Hochfrequenzfeldern
- A18- Risikodarstellung und Koproduktion von Experten- und Laienwissen bei der Lösung von Kontroversen im Zusammenhang mit Hochfrequenzen in Frankreich und Québec
- A19- Idiopathische umweltbezogene Überempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern (IEI-EMF): Untersuchung des endokrinen Systems, des sympathischen Nervensystems und des Immunsystems
- A20- Datenlogger für die Uplink-Leistung von Mobiltelefonen
- A21- Molekulare Definition der Elektrosensibilität beim Menschen und Risikobewertung
- A22- Tragbares Gerät zur Messung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern einer nahen Uplink-Quelle
- A23- Sensibilität des Gehirns gegenüber elektromagnetischen Wellen (4G) in verschiedenen Altersgruppen bei Ratten: Persistenz von Erinnerungen und damit verbundene epigenetische Mechanismen
- A24- Vorstudie für die Gestaltung eines Raumes für die Erkundung der Sensibilität in einer kontrollierten elektromagnetischen Umgebung
- A25- Forschung zur Definition elektromagnetischer Hypersensibilität
- A26- Verbesserung der Genauigkeit von persönlichen Hochfrequenzmessungen und Charakterisierung der Expositionswerte in verschiedenen Umgebungen und Ländern
- A27- Exposition von Arbeitern gegenüber elektromagnetischen Feldern in der Industrie
- A28- HF-Signalmodulation und Auswirkungen auf das Gehirn: In-vivo- und In-vitro-Ansatz
- A29- Auswirkungen von 1800 MHz-GSM-Wellen auf akute oder chronische neuroinflammatorische Reaktionen
- A30- Gesundheitliche Beeinträchtigungen und Vorstellungen von Umwelt und Technologien: eine Bestandsaufnahme elektromagnetischer Hypersensibilität in Frankreich
- A31- Zelluläre Reaktion auf die gleichzeitige Exposition gegenüber hochfrequenter (HF) und solarer ultravioletter (UV) Strahlung in menschlichen In-vitro-Hautmodellen
- A32- Autonomes System zur Charakterisierung der Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobilfunkbasisstationen, das die kollaborative Datenerfassung auf Smartphones und digitale Simulation kombiniert
- A33- Charakterisierung der häuslichen HF-Exposition
- A34- Vorverzernte Quellen für hochauflösende Analysen der Auswirkungen hochfrequenter Strahlung auf die Hirnaktivität
- A35- Längsschnittstudie über Hochfrequenzen und Schlafprobleme bei Kindern
- A36- Bewertung der genotoxischen Auswirkungen chronischer HF-Exposition auf Mikrogewebe in 3D

- A37- Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen elektromagnetischen Feldern und lebenden Organismen
- A38- Entwicklung eines hochauflösenden Scanners für die spezifische Absorptionsrate (SAR) auf der Basis eines elektrooptischen Sensors
- A39- Mobi-Expo: Charakterisierung der Mobiltelefonnutzung bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen als Teil einer multizentrischen epidemiologischen Studie

Vorgehen und grafische Darstellung der Befundlage

Für die Auswertung wurden drei Arten von Quellen herangezogen:

Zum Ersten hat die ANSES in verschiedenen Berichten über den Stand von Projekten informiert. Die aus den ANSES-Berichten entnommenen Zitate sind mit der entsprechenden Projektnummer (z. B. A1, A8) in der Zitatliste versehen. Werden mehrere Textstellen verwendet, ist das Zitat über den vermerkten Buchstabenzusatz, sowie mit Autor und Seitenzahl auffindbar (siehe hierzu FSM 2017, S. 22). Im Bericht (ANSES 2015) werden Projektergebnisse von A1, A5 vorgestellt, im Bericht (ANSES (2016b) Projektergebnisse der Projekte A1, A10, A19; im Bericht (ANSES 2017a) Projektergebnisse von A8, A14, A16 und im Bericht (ANSES 2017b) von A1, A8, A10, A11, A14, A16, A17, A38, A39.

Zum Zweiten hat die FSM (2017) Resultate von Projekten, die nicht in ANSES-Berichten zusammengefasst sind, über die (bereits erschienenen) wissenschaftlichen Publikationen erfasst. Alle diese Zitate sind in der Zitatliste durchnummeriert und mit der Angabe von Erstautor, Jahreszahl und Seitenzahl des Zitats versehen.

Zum Dritten hat die FSM (2017) die 2013 und 2016 veröffentlichten Beurteilungen der ANSES Expertenkommission (ANSES 2013a, 2016a) als Grundlage für die wissenschaftliche Globaleinschätzung der Programmleitungen verwendet. Der Bericht von 2013 bezieht sich auf die Gesundheit insgesamt, der Bericht von 2016 fokussiert auf Kinder, berücksichtigt aber auch Zellstudien, Tierstudien und andere Humanstudien. Da in beiden Berichten die Kerninformationen in zusammenfassenden Tabellen zu finden sind (Seiten 9 bis 13 für den älteren Bericht, 8 bis 10 für den jüngeren), hat die FSM (2017) auf die Angabe von Seitenzahlen in der Tabelle verzichtet und nur die Jahreszahl [2013a] oder [2016a] vermerkt. Dabei handelt es sich um folgende Berichte:

ANSES (2013a). Update of the »Radiofrequency electromagnetic fields and health« expert appraisal Maisons-Alfort, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. www.anses.fr/fr/system/files/AP2011sa0150Ra.pdf (28.9.2020)

ANSES (2016a): Expert appraisal of »Exposure to radiofrequencies and child health«. Maisons-Alfort, French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety. www.anses.fr/fr/system/files/AP2012SA0091Ra.pdf (28.9.2020)



Tab. 8.2 Resultate des PNR EST

	Zell- studien	Tier- studien	Humanstudien		
			Biologie	Gesundheit akut	Gesund- heit chro- nisch
Krebs		[2016a]			[2016a]
<i>Tumore im Kopfbereich</i>					[2013a]
<i>Tumore bei Kindern</i>					[2016a]
<i>andere Tumore</i>					[2013a]
Neurodegeneration neuronale Erkrankun- gen	23	[2013a], A10, A16, 1, 4, 5, 6, 7, 8,			[2013a]
Fertilität		[2016a]	[2016a]		
Entwicklung		[2016], 3	[2016a]		
kardiovaskulär/ Blutsystem		[2013a]	[2013a], 41		
EEG			[2013a]		
Kognition		[2016a]	[2016a]		
<i>Kinder</i>			[2016a]		
Schlaf		[2016a]	[2016a], 40		
<i>Kinder</i>			[2016a]		
unspezifische Symp- tome			41	[2016a]	
<i>Nozeboeffekt</i>					
<i>Kinder</i>				[2016a]	
Hormone/Drüsen		2	[2013a]		
<i>Melatonin</i>			(40)		
<i>Stressproteine/ Genexpression</i>	20, (24, 25)				
Blut-Hirn-Schranke					
Verhalten allg.		[2016a], A14	[2016a]		
<i>Kinder und Jugendliche</i>			[2016a]		
Wirkmechanismen		[2016a]	[2016a]		

Genschädigung Sauerstoffradikale Genexpression	A1, (21, 22, 24)				
Zellfunktionen/Memb- ran	A11				
anderes					
Kinder und Jugendliche allg.					
ältere Menschen					
Immunsystem		[2016a]	[2016a]		
Metabolismus					
Sinne (Gehör, Netzhaut)		[2016a]	[2016a]		
Zellen allg.	A17				

Effekt ausreichend nachgewiesen	Effekt limitiert nach- gewiesen	Effekt inadäquat nachgewiesen*	kein Effekt nachge- wiesen

Berücksichtigt: Beurteilung [2016a] und [2013a]

Ergänzungen: Projekte mit A, Publikationen: ein- oder zweistellige Zahlen

Quelle: FSM 2017, S. 23

Zitatliste

(I) Einträge aus der Abbildung 8.2, die aus ANSES-Berichten stammen, sind auf folgende Zitate zurückzuführen, die über den Stand der Projekte informieren

(A1a) ANSES 2015, S. 3: Schlussendlich zeigten unsere Arbeiten keine Veränderung der Genexpression, solange wir auf Leistungsniveaus bleiben, die keinen thermischen Effekt erzeugen.

(A1b) ANSES 2016b, S. 88: Im konkreten Anwendungsfall, bei dem die Antennen direkt auf der Haut platziert würden (»Body Arrays«), zeigen die Daten jedoch, dass es zweifellos erforderlich wäre, die empfohlenen Standards neu zu bewerten.

(A1c) ANSES 2017b, S. 10: In der Tat sagen unsere Arbeiten in keiner Weise etwas über die Unbedenklichkeit dieser Wellen in Bezug auf Langzeitwirkungen oder Auswirkungen auf die elektrische Aktivität von Neuronen aus.

(A8c) ANSES 2017b, S. 3: Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Positionsänderungen [...] um eine Gebrauchsposition herum einen nur begrenzten



- Einfluss [...] auf die Ganzkörperexposition (WBSAR) haben. Der Einfluss dieser Positionsänderungen auf die lokale Exposition hingegen ist größer.
- (A10a) ANSES 2016b, S.89: Es wurde ein signifikanter Rückgang der Erkundungsaktivität bei jugendlichen und ausgewachsenen Ratten im Anschluss an HF-EMF-Expositionen während der Trächtigkeit gezeigt. Dieses Ergebnis ist wichtig, weil es eine Periode besonderer Anfälligkeit gegenüber HF-EMF-Expositionen aufzeigt, die von langfristigen Auswirkungen begleitet wird.
- (A10b) ANSES 2017b, S.22: In dieser Studie deuten EMF-Werte oberhalb der gesetzlichen Grenzwerte auf das Vorhandensein von Wechselwirkungen mit biologischem Gewebe und auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen bei hohen kumulativen SAR-Werten hin.
- (A11) ANSES 2017b, S.26f: Obwohl der Anteil der oxidierten Lipide im Falle von GSM sehr gering ist, waren die Ergebnisse der Experimente sehr gut reproduzierbar und die statistische Signifikanz war angesichts der Anzahl der Proben sehr hoch. [...] Wir glauben also, dass die beobachteten Auswirkungen und die im MARFEM (Projekt zur Oxydation von Membranlipiden nach Exposition von biologischen Membranen gegenüber EMF und elektrischen Impulsen) beschriebenen Mechanismen allgemeingültig sein könnten, d. h. dass sie durch elektrische elektromagnetische Wellen sehr unterschiedlicher Form und Amplitude verursacht werden können.
- (A14a) ANSES 2017a, S.36: Der Organismus reagiert sensibel auf die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern und betrachtet sie als belästigend, wie die Vermeidungsstrategie des Tieres zeigt. Obwohl es sich um eine chronische Exposition handelt, haben die Tiere also keine angemessenen und nachhaltigen Anpassungsreaktionen auf diesen Umweltstress entwickelt.
- (A14b) ANSES 2017b, S.7: [...] Der REM-Schlaf (sensibelstes Stadium) wird durch die Exposition nicht beeinträchtigt. So würden Änderungen des Schlafverhaltens es dem Organismus erlauben, sich anzupassen, ohne seine Homöostase zu beeinträchtigen.
- (A16a) ANSES 2017a, S.26f: Diese Auswirkungen der Hochfrequenzen sind 24 Stunden nach der Exposition bei mit Lipopolysacchariden (LPS) vorbehandelten Tieren statistisch signifikant, verschwinden dann und sind 72 Stunden nach der Exposition nicht mehr detektierbar. Darüber hinaus werden sie bei Ratten, die ohne vorherige Behandlung mit LPS (kein Vorhandensein eines neuroinflammatorischen Zustands zum Zeitpunkt der Exposition) HF-exponiert wurden, nicht beobachtet. [...] Mit diesen Ergebnissen werden die Auswirkungen von GSM-1800 MHz-Feldern auf das Zentralnervensystem deutlich.
- (A16b) ANSES 2017b, S.24: Unsere Ergebnisse stützen daher die Berücksichtigung der hohen Prävalenz akuter oder chronischer neuroinflammatorischer Zustände in der Bevölkerung für die Risikobewertung.

(A17) ANSES 2017b, S. 13: Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass HF-Felder unabhängig von der untersuchten Modulation keinen Einfluss auf das Zellverhalten (Adhäsion, Wachstum, Reaktion auf chemische Stimulation) haben.

(II) Einträge, welche aus einzelnen Publikationen stammen, sind auf folgende Zitate zurückzuführen

- (1) (Aït-Aïssa, Billaudel et al. 2010, S.592): Der Vergleich zwischen scheinexponierten und exponierten Gruppen ergab keine signifikanten Unterschiede, was darauf hindeutet, dass die Exposition gegenüber Wi-Fi in der Gebärmutter und nach der Geburt das Gehirn der jungen Ratten nicht geschädigt hat.
- (2) (Ait-Aïssa, Billaudel et al. 2012), S.410: Es wurde keine Veränderung hinsichtlich der humoralen Immunantwort junger Welpen beobachtet, unabhängig von der Art der Biomarker und dem SAR-Wert.
- (3) (Aït-Aïssa, Billaudel et al. 2010), S.410: Unsere Beobachtungen deuten darauf hin, dass es keine negativen Auswirkungen der Wi-Fi-Exposition auf die Geburt und den Allgemeinzustand der Tiere gibt.
- (4) (Ait-Aïssa, de Gannes et al. 2013), S. 707: Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen exponierten und scheinexponierten Gruppen beobachtet. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine wiederholte Exposition gegenüber Wi-Fi während der Gestation und in den frühen Lebensphasen keine schädlichen Auswirkungen auf das Gehirn junger Ratten hat.
- (5) (Barthelemy, Mouchard et al. 2016), S.25343: Unsere Daten bestätigen frühere Studien, die auf eine HF-EMF-induzierte Astrogliose hinweisen. Diese Studie deutet darauf hin, dass HF-EMF-induzierte Astrogliose funktionelle Auswirkungen auf das Gedächtnis hatte, zeigte aber nicht, dass sie eine Folge einer neuronalen Schädigung war.
- (6) (Petitdant, Lecomte et al. 2016), S. 338: Unsere Ergebnisse zeigten keine neurobiologischen Beeinträchtigungen bei gesunden und ungeschützten HF-EMF-exponierten Ratten im Vergleich zu ihren scheinexponierten Kontrolltieren. Die Hypothese einer spezifischen zerebralen Sensibilität gegenüber HF-EMF bei Jugendlichen wurde durch diese Daten nicht gestützt. Dies auch nicht nach einer Entzündung während der Entwicklung des Nervensystems.
- (7) (Bouji, Lecomte et al. 2012), S. 444: Unsere Daten zeigten eine Altersabhängigkeit der Reaktivität gegenüber der GSM-Exposition in Bezug auf Neuroimmunität, Stress und Verhaltensparameter. Durch das Reproduzieren dieser Auswirkungen und das Erforschen ihrer Mechanismen kann ein besseres Verständnis der EMF-Auswirkungen von Mobiltelefonen auf neurobiologische Parameter ermöglicht werden.
- (8) (Bouji, Lecomte et al. 2016), S. 841: Durch diese Studie, in der erstmalig die Exposition gegenüber HF-EMF im späteren Alter beurteilt wird, wurde die



Hypothese einer spezifischen zerebralen Anfälligkeit gegenüber HF-EMF während der Seneszenz nicht unterstützt.

- (20) (Haas, Le Page et al. 2016), S.444: Unsere Ergebnisse zeigten keine Auswirkungen der Millimeterwellenexposition (Millimeter Waves – MMW) auf die Proteinexpression. [...] Außerdem wurden keine spezifischen Zell-Subpopulationen gefunden, die einen der untersuchten Marker auf einem anderen Niveau exprimieren als der Rest der Zellpopulationen. Es wurden jedoch eine unerhebliche leichte Erhöhung der HSP70-Expression und eine Zunahme der Variabilität der Proteinexpression innerhalb der Zellpopulation in exponierten Zellen beobachtet. Doch die Kontrollen zeigten, dass dies mit dem thermischen Effekt zusammenhing.
- (21) (Habauzit, Le Quement et al. 2014), S. 1: [...] wenn die Temperatur künstlich konstant gehalten wird, wurde nach der MMW-Exposition keine Veränderung der Genexpression beobachtet. Eine Hitzeschockkontrolle ahmte den MMW-Effekt jedoch nicht exakt nach, was auf eine leichte, aber spezifische elektromagnetische Wirkung unter Hyperthermiebedingungen hindeutet.
- (22) (Soubere Mahamoud, Aite et al. 2016), S. 1: Mit einem Ansatz auf Basis von Microarrays analysierten wir Veränderungen am gesamten Genom eines humanen Keratinozytenmodells, das bei 60,4 GHz gegenüber MMW exponiert wurde. [...] Die Behandlung mit 2dG führte zu einer starken Veränderung des Genexpressionsprofils, aber der MMW-Effekt auf die Genexpression war schwächer. Es wurden keine Gene verändert, wenn die Zellen unter athermischen Bedingungen lediglich gegenüber MMW exponiert wurden. Bei gleichzeitiger Behandlung der Zellen mit MMW und 2dG wurden nur sechs Gene identifiziert und validiert. [...] Zusammen zeigten die differentiell exprimierten Gene eine Aktivität über den JAK/STAT-Signalweg (Januskinase – JAK, Signal Transducers and Activators of Transcription – STAT) an (S.10).
- (23) (Moretti, Garenne et al. 2013), S.571: In dieser Pilotstudie an 16 Kulturen gab es eine 30%ige reversible Abnahme der Feuerrate (Firing rate – FR) und der Entladungsrate (Burst Rate – BR) während einer 3-minütigen Exposition gegenüber HF.
- (24) (Le Quement, Nicolaz et al. 2012), S. 156: Abschließend wurde festgestellt, dass nur fünf Transkripte signifikant beeinflusst waren. Im Vergleich zu anderen Microarray-Analysen, bei denen die Wirkung von Schadstoffen oder Medikamenten untersucht wird, ist die Anzahl der reaktiven Gene in der vorliegenden Studie äußerst gering. Darüber hinaus ist die Genexpressionsveränderung transient (meist nach einer Exposition über 6 Std.) und zeigt eine begrenzte Amplitude (im Allgemeinen mit einem FC nahe 2). Es stellt sich nur die Frage, welche Folgen solch subtile Veränderungen auf zellulärer Ebene für die menschliche Gesundheit haben. So können wir davon

ausgehen, dass MMW (kontinuierliche Welle bei 60,4 GHz, 1,8 mW/cm²) keinen dramatischen Einfluss auf Kulturen primärer humaner Keratinozyten haben.

- (25) (Le Quement, Nicolaz et al. 2014), S.444: Unsere Ergebnisse zeigen, dass eine MMW-Exposition bei 20 mW/cm² die TG-induzierte Überexpression von BIP und ORP150 hemmt. Experimentelle Kontrollen zeigten, dass diese Hemmung mit dem thermischen Effekt der MMW-Exposition verbunden ist.
- (40) (Andrianome, Hugueville et al. 2016), S. 175: Trotz signifikant unterschiedlicher Schlafwerte zwischen den beiden Gruppen – mit einem niedrigeren Wert in der Gruppe der untersuchten Individuen, die ihre unspezifischen Symptome auf eine EMF-Exposition zurückführen, ($P < 0,001$) – wurde kein statistischer Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich Melatonin im Speichel ($P > 0,05$) und seinen hauptsächlichen Metabolit aMT6s (Metabolit-6-sulfatoxymelatonin) im Urin ($P > 0,05$) festgestellt.
- (41) (Andrianome, Gobert et al. 2017), S. 1: Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Herzfrequenzvariabilität (Heart Rate Variability – HRV) und elektrodermale Aktivitäten (Skin Conductance-Profile – SC-Profile) zwischen der elektromagnetischen Hypersensibilität (Electromagnetic hypersensitivity Population – EHS-population) und der Kontrollpopulation ohne Exposition sich nicht signifikant unterschieden. Die Exposition hatte keinen Einfluss auf die von uns untersuchten Parameter des vegetativen Nervensystems (Autonomic Nervous System – ANS-Parameter).

(III) Die Befundlage ergänzend, aber nicht in der Abbildung aufgeführt, sind Ergebnisse aus exposimetrischen und dosimetrischen Studien

- (A5) ANSES 2015, S. 5: Schließlich wurde ein Gesamtexpositionsindikator definiert, der die Exposition von Mobilfunkgeräten und die von Basisstationen zusammenfasst. Es wurden typische Szenarien definiert und mit diesem Indikator analysiert.
- (A8a) ANSES 2017a, S. 12f: Die Ganzkörperexposition (WBSAR) [...] ist bei sehr kleinen Kindern höher als bei Erwachsenen. Diese Ergebnisse stimmen mit den in der wissenschaftlichen Literatur verfügbaren Ergebnissen überein
- (A8b) ANSES 2017a, S. 12f: In Bezug auf die Hirnexposition zeigt die Untersuchung, dass [...] die Nutzung der dielektrischen Eigenschaften von adulten Geweben [...] zu einer Unterschätzung der Exposition führen kann.
- (A38) ANSES 2017b, S. 13f: Mit der entwickelten elektrooptischen (EO) Millimeter-Sonde [...] wurde die Ultrabreitbandmessung von drei Komponenten des elektrischen Feldvektors demonstriert. [...] Diese elektrooptische Sonde, gekoppelt mit einem synchronisierten hochauflösenden Scanner, ermöglichte die Strahlung im Nahfeld einer Hochfrequenzantenne vektoriell zu charakterisieren. [...] Das entwickelte Messinstrument erlaubt die vektorielle Charakterisierung des elektrischen Feldes über einen sehr breiten Frequenzbereich



(bis zu mehr als 10 GHz). [...] Außerdem ist die Messsonde vollständig dielektrisch und hat eine effektive Permittivität, die der von biologischen Medien sehr nahekommt, sodass der Sensor aus elektromagnetischer Sicht fast unsichtbar ist.

(A39) ANSES 2017b, S.4f: Die Anzahl und die Dauer der Anrufe sind bei Mädchen höher bzw. länger als bei Jungen [...], bei 20- bis 24-Jährigen höher bzw. länger als bei 10- bis 14-Jährigen [...] und bei benachteiligten sozialen Schichten höher bzw. länger als bei wohlhabenden sozialen Schichten. [...] Was den Vergleich mit den Antworten im Fragebogen betrifft [...], so wird die Anzahl der Anrufe von den Teilnehmern im Durchschnitt unterschätzt [...], während die Dauer der Anrufe eher überschätzt wird [...]. Die Quoten variieren erheblich je nach Land, Alter, Bildungsstand und dem angegebenen Grad der Telefonnutzung.

Aerts, Plets et al. 2015, S.2639: [...] Exposition eines Mobilfunknutzers, der entweder mit dem Makrozellennetz im Freien oder mit einer kleinen Zelle im Zug verbunden ist. [...] Für die Global-System-for-Mobile-Communications-(GSM-)Technologie bei 1800 MHz haben wir festgestellt, dass durch die Verbindung mit einer kleinen Zelle die Hirnexposition des Nutzers realistischweise um einen Faktor 35 und die Ganzkörperexposition um einen Faktor 11 reduziert werden könnte.

Boriskin, Zhadobov et al. 2013, S.2005: Aufgrund dieser Vorteile ist die vorgeschlagene neuartige rotationssymmetrische Choke-Ring-Antenne (Choke Ring Antenna – CRA) hervorragend für 60-GHz-Kurzstreckenexpositionssysteme für bioelektromagnetische in-vitro-Untersuchungen geeignet.

Dahdouh, Varsier et al. 2016, S.1500: [...] ein neuartiges Verfahren zum Aufbau heterogener Kleinkindmodelle in 3D, bei denen die Ergebnisse eines halbautomatischen Multi-Organ-Segmentierungsalgorithmus und eines Anatomie-Deformationsverfahrens kombiniert werden. [...] Die Ergebnisse zeigen tendenziell, dass eine Beziehung zwischen Alter und Ganzkörperexposition vorhanden ist. Außerdem heben die Ergebnisse die Notwendigkeit hervor, Messungen der dielektrischen Eigenschaften von kindlichem Gewebe spezifisch zu untersuchen und zu entwickeln.

Goedhart, Vrijheid et al. 2015, S.538: Die Ergebnisse zeigten, dass die Teilnehmer die Anzahl der von ihnen getätigten Anrufe im Durchschnitt unterschätzten, während sie die gesamte Gesprächsdauer eher überschätzten. Die Teilnehmenden hielten das Telefon für etwa 90% der gesamten Gesprächszeit nah an ihrem Kopf, hauptsächlich auf der Seite des Kopfes, die sie als dominant bezeichneten.

(Li, Chen et al. 2015), S.10: [...] Aus Magnetresonanzbildern haben wir ein 12 Monate altes männliches Ganzkörpermodell und ein 17 Monate altes männliches Kopfmodell entwickelt. Das Ganzkörper- und das Kopfmodell enthielten 28 bzw. 30 Gewebe mit einer räumlichen Auflösung von

- 1 mm x 1 mm x 1 mm. [...] Somit sind aktuelle Sicherheitsrichtlinien für die Exposition von Säuglingen gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern möglicherweise nicht konservativ.
- (Liorni, Parazzini et al. 2016), S.3237: [...] die Maximalwerte der Ganzkörper-SAR (»WB SAR«) liegen bei 9,5 mW kg⁻¹ im Uplink-Modus und 65 µW kg⁻¹ im Downlink-Modus. [...] Durch eine Veränderung der Position sowohl des 3G-Tablets als auch der 3G-Femtozelle wird die Exposition des Säuglings signifikant beeinflusst.
- (Phan-Huy, Kokar et al. 2014) S.1190: Wir kommen daher zu dem Schluss, dass die Exposition von Menschen gegenüber hochfrequenten Strahlungen, die durch das verbundene Objekt unter Verwendung der aufkommenden Technologie der kompakten Multiport-Antennen verursacht werden, nicht stark ist.
- (Viel, Clerc et al. 2009), S.550: wir stellten fest, dass die Exposition von GSM- und DCS-Basisstationen mit der Entfernung im Nahbereich der Quelle zunimmt – bis zu einem Maximum, wo der Hauptstrahl den Boden schneidet.
- (Viel, Cardis et al. 2009) S.1150: Gesamtfeld-, Schnurlostelefon-, Wi-Fi-Mikrowellen- und FM-Strahlenquellen lagen mit einem Anteil oberhalb der Detektionsschwelle von jeweils 46,6%, 17,2%, 14,1 % bzw. 11,0% auseinander. Der Mittelwert des Gesamtfeldes lag bei 0,201 V/m, während er in städtischen Gebieten, tagsüber, bei Erwachsenen und bei Bewegung höher lag.
- (Viel, Tiv et al. 2011), S.510: Wir fanden Hinweise auf eine statistisch signifikante Variabilität der individuellen HF-Exposition über die Wochentage hinweg, obwohl die relative Größenordnung der beobachteten Unterschiede gering war.
- (Zhadobov, Augustine et al. 2012), S.354: Es wurde experimentell nachgewiesen, dass die Permittivitätswerte von freiem Wasser bei der numerischen Modellierung des Kulturmediums für Frequenzen oberhalb von 10 GHz verwendet werden können. Bei niedrigeren Frequenzen sollte jedoch eine deutliche Zunahme der Verluste im Zusammenhang mit der Ionenleitfähigkeit sorgfältig berücksichtigt werden.
- (Zhadobov, Sauleau et al. 2012), S.62f: Es wurde eine Nahfeldkonfiguration eines 60-GHz-Expositionssystems für in-vitro-Untersuchungen vorgeschlagen, und die Positionierung der Gewebekulturschale relativ zur Antenne wurde optimiert, um das Peak-to-average-SAR-Verhältnis (Mean-to-peak – PAPR) zu maximieren und gleichzeitig einfallende Leistungsdichten von bis zu mehreren Dutzend mW/cm² zu erreichen.
- (Zhadobov, Alekseev et al. 2017), S.11: Hier schlagen wir eine Methodik zur genauen lokalen Temperaturmessung und anschließenden Abschätzung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) unter Verwendung mikroskaliger Thermoelemente (TC) vor. [...] Darüber hinaus haben wir die Möglichkeit einer



genauen Messung von MMW-induzierten thermischen Impulsen (bis zu 10 °C) mithilfe von 25 mm-Thermoelementen nachgewiesen.

8.1.2.3 Niederlande: EMF&H-Programm

Charakterisierung des Forschungsprogramms

Das niederländische EMF&H-Programm mit einer Laufzeit von 2006–2019 wird durch die Niederländische Organisation für Gesundheitsforschung und Pflegeinnovation (ZonMW) organisiert und umfasst das gesamte Frequenzspektrum. Die Projekte, in denen sich mit hochfrequenten Anwendungen beschäftigt wird, sind primär auf Fragen zur Expositionserfassung, auf Fragen rund um die Elektrosensibilität und auf Risikokommunikation fokussiert (dazu und zum Folgenden FSM 2017, S.24). Die relevanten Projekte sind in der nachfolgenden Projektliste mit ihren Titeln aufgeführt. Detailinformationen zu den Projekten finden sich u. a. auf der Website von ZonMW⁹⁵.

- › Körperliche Erwärmung durch elektrische Felder
- › Physiologische Veränderungen durch EMF-Hot-Spots
- › Exposition von Kindern gegenüber EMF
- › Individuelle Exposition gegenüber EMF
- › Auswirkungen von EMF auf die Embryonalentwicklung
- › Niederländische Kohortenstudie zu Mobiltelefon und Gesundheit: COSMOS+
- › Unspezifische körperliche Symptome in Bezug auf EMF
- › Kognitive Funktionen von Kindern und Exposition gegenüber EMF
- › Menschen zu Hause auf Sensibilität testen
- › Gesundheitliche Auswirkungen der Exposition gegenüber MRT-bezogenen EMF
- › Große Kohortenstudie zu den gesundheitlichen Auswirkungen der EMF-Exposition
- › Elektrosensibilitätsforschung in der MANSION-Studie

Im Vergleich etwa zum DMF ist der hochfrequente Teil im Programm der Niederlande thematisch viel weniger breit aufgestellt und ein großes Gewicht liegt auf Fragen zur Dosimetrie und zur Expositionserfassung in Humanstudien, was sich in den publizierten Fachartikeln der Projekte widerspiegelt.

⁹⁵ www.zonmw.nl/en/research-and-results/fundamental-research/programmas/programme-detail/electromagnetic-fields-and-health-research/ (28.9.2020)

Vorgehen und grafische Darstellung der Befundlage

Die FSM (2017) verwendet für die Darstellung der niederländischen Programmbefunde in Abbildung 8.3 einerseits die publizierten wissenschaftlichen Artikel und andererseits, wo keine Artikel verfügbar waren, den Evaluationsbericht zum Programm (Technopolis 2015) (dazu und zum Folgenden FSM 2017, S. 24).⁹⁶ Die Belege befinden sich in der nachfolgenden Zitatliste (Publikation, Seitenzahl, Zitat). Im Gegensatz zu den anderen Länderstudien ist die Nummerierung der Zitate (Literaturstellen) nicht mit den Nummern der Projekte verknüpft.

Die globale wissenschaftliche Einschätzung der Programme, wonach sich die Zellenfarbe in den Feldern in der Abbildung 8.3 richtet, bezieht sich auf die Bewertung der Ergebnisse im Evaluationsbericht des Forschungsprogramms (Technopolis 2015) und sind mit den Projektbefunden identisch. Nur in einem Fall wich ein Befund (Zitat 4) von den übrigen Einschätzungen des Programms zum fraglichen Endpunkt ab.

Technopolis (2015): Programme evaluation Electromagnetic Fields & Health (EMF&H). ZonMw Programme Evaluation. Final Report 7th May 2015. www.zonmw.nl/fileadmin/documenten/Elektromagnetische_Velden_en_Gezondheid/Evaluation_report_EMF_H_by_Technopolis_2015.pdf (28.9.2020)

Tab. 8.3 Resultate des EMF&H-Programms

Technopolis (2015): Programme evaluation Electromagnetic Fields & Health (EMF&H)

	Zell- studien	Tier- studien	Humanstudien		
			Biologie	Gesundheit akut	Gesundheit chronisch
Krebs					
<i>Tumore im Kopfbereich</i>					
<i>Tumore bei Kindern</i>					
<i>andere Tumore</i>					
Neurodegeneration/ neuronale Erkrankun- gen					
Fertilität					
Entwicklung		61, 21			

⁹⁶ Projektschluss- oder Zwischenberichte sind nicht öffentlich zugänglich.

8.1 Ergänzungen, Erläuterungen und weitere Quellen zu Kapitel 4



kardiovaskulär/Blutsys-tem					
EEG					
Kognition					
<i>Kinder</i>			6		
Schlaf			3	3, 8	
<i>Kinder</i>			7	7	
unspezifische Symp- tome			2, 3	2, 3, 4, 8, 9, 10	
Nozeboeffekt				1, 2, 8, 11	
<i>Kinder</i>					
Hormone/Drüsen					
<i>Melatonin</i>					
<i>Stressproteine/ Genexpression</i>					
Blut-Hirn-Schranke					
Verhalten allg.					
<i>Kinder und Jugendliche</i>				5	
Wirkmechanismen					
<i>Genschädigung</i>	60				
<i>Sauerstoffradikale</i>					
<i>Genexpression</i>	20				
<i>Zellfunktionen/Memb- ran</i>					
anderes					
<i>Kinder und Jugendliche allg.</i>					
<i>ältere Menschen</i>					
<i>Immunsystem</i>		62			
<i>Metabolismus</i>		63			
<i>Sinne (Gehör, Netzhaut)</i>			22		
<i>Zellen allg.</i>					

Effekt ausreichend
nachgewiesen

Effekt limitiert nach-
gewiesen

Effekt inadäquat
nachgewiesen*

kein Effekt nachge-
wiesen

Zitatliste

(I) Die Einträge in Abbildung 8.3 sind auf folgende Zitate zurückzuführen

- (1) (Baliatsas, van Kamp et al. 2011), S.421: Wahrgenommene Nähe zu Basisstationen (BS), psychologische Komponenten und soziodemografische Merkmale stehen in Zusammenhang mit dem Bericht der Symptomatik. Die tatsächliche Entfernung zur EMF-Quelle erwies sich nicht als bestimmender Faktor unspezifischer körperlicher Beschwerden (Non-specific Physical Symptoms – NSPS).
- (2) (Baliatsas, Van Kamp et al. 2012), S.15: In dieser systematischen Überprüfung und Meta-Analyse finden sich keine Hinweise auf einen direkten Zusammenhang zwischen Häufigkeit und Schwere der unspezifischen körperlichen Beschwerden und höheren EMF-Expositionswerten. Ein Zusammenhang mit der wahrgenommenen Exposition scheint zu bestehen, aber die Beweislage ist wegen Unterschieden in Bezug auf Konzeptualisierung und Bewertungsmethoden immer noch begrenzt.
- (3) (Baliatsas, Bolte et al. 2015), S.331: Die wahrgenommene Exposition wies eine geringe Korrelation mit den tatsächlichen Expositionsschätzungen auf. Es wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen der modellierten HF-EMF-Exposition und den untersuchten Ergebnissen gefunden. [...] kein überzeugender Beweis für einen Zusammenhang zwischen der HF-EMF-Exposition im Alltag und den unspezifischen körperlichen Beschwerden sowie der Schlafqualität in der Bevölkerung.
- (4) (Baliatsas, van Kamp et al. 2016), S.715: Anhand klinisch definierter Ergebnisse und einer Zeitdifferenz von > 6 Jahren wurde nachgewiesen, dass die HF-EMF-Exposition gegenüber Mobilfunkbasisstationen (Mobile Phone Base Station – MPBS) nicht mit der Entwicklung von unspezifischen Symptomen (Non-specific Symptoms – NSS) in Zusammenhang stand. Dennoch gab es einige Anzeichen für ein höheres Risiko von unspezifischen Symptomen für die Mobilfunkbasisstationen -sensible Gruppe, vor allem in Bezug auf die Exposition gegenüber UMTS-Antennen, doch dies sollte mit Vorsicht interpretiert werden.
- (5) (Birks, Guxens et al. 2017), S.122: Die Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mutter während der Schwangerschaft kann mit einem erhöhten Risiko für Verhaltensauffälligkeiten, insbesondere Probleme bezüglich Hyperaktivität und Aufmerksamkeitsdefizite, bei den Nachkommen in Zusammenhang gebracht werden. Die Interpretation dieser Ergebnisse ist unklar, da unkontrollierte Störfaktoren sowohl die mütterliche Mobiltelefonnutzung als auch Verhaltensauffälligkeiten bei Kindern beeinflussen kann.
- (6) (Guxens, Vermeulen et al. 2016), S.364: Wir fanden widersprüchliche Verbindungen zwischen verschiedenen Quellen der HF-EMF-Exposition und kognitiven Funktionen bei Kindern im Alter von 5 bis 6 Jahren.



- (7) (Huss, van Eijdsen et al. 2015), S. 1: Angesichts der unterschiedlichen Ergebnisse zu den bewerteten HF-EMF-Expositionsquellen und des beobachteten Zusammenhangs zwischen Mobiltelefonnutzung und der Schlafskala zur Negativkontrolle unterstützt unsere Studie nicht die Hypothese, dass die Schlafqualität bei 7-jährigen Kindern durch die Exposition gegenüber HF-EMF beeinträchtigt wird, aber möglicherweise durch andere Faktoren, die mit der Mobiltelefonnutzung zusammenhängen.
- (8) (Martens, Slotje et al. 2017), S. 8: Die Ergebnisse unserer landesweiten prospektiven Studie haben gezeigt, dass nicht die modellierte Exposition, sondern die wahrgenommene Exposition gegenüber Mobilfunkbasisstationen eine Variable zur Vorhersage unspezifischer Symptome und Schlafstörungen ist. Das Bewusstsein für das Vorhandensein von Mobilfunkbasisstationen im häuslichen Umfeld kann aufgrund von Auswirkungen auf die wahrgenommene Exposition eine indirekte Rolle bei der Angabe von Symptomen spielen.
- (9) (Slotje, van Moorselaar et al. 2017), S. 395: Angesichts des Fehlens wissenschaftlicher Beweise zur Elektrosensibilität (Electrohypersensitivity – EHS) und der Tatsache, wie eine geringe EMF-Exposition zu gemeldeten Gesundheitsbeschwerden führen könnte, sowie angesichts der Feststellung, dass sich die Mehrheit dieser Fachleute unzureichend über EMF und Gesundheit informiert fühlt, könnten gezielte Informationskampagnen sie bei der evidenzbasierten Behandlung von Personen unterstützen, die elektromagnetischen Feldern (EMF) Symptome zuschreiben.
- (10) (van Wel, Huss et al. 2017), S. 8: Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Wohlbefinden und der Art der HF-EMF-Exposition festgestellt.
- (11) (van Moorselaar, Slotje et al. 2017), S. 255: Während Doppelblindstudie konnte kein Teilnehmer richtig erkennen, wann er mehr als nur zufällig exponiert wurde. Bei der Folgeuntersuchung gab es im Vergleich zur Ausgangsbasis keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich des selbstberichteten Niveaus von EHS. Allerdings gaben die Teilnehmer während der Folgeuntersuchung eine verminderte Sicherheit bei der Reaktion innerhalb von Minuten auf die Exposition an und berichteten über signifikant weniger Symptome im Vergleich zur Ausgangsbasis.
- (20) (Kuzniar, Laffeber et al. 2017), S. 1: Zusammenfassend betrachtet stützen unsere umfangreichen bioinformatischen Analysen semi-quantitativer Massenspektrometriedaten nicht die Annahme, dass die kurzzeitige Exposition gegenüber nichtionisierenden EMF einen konsistenten biologisch signifikanten Einfluss auf Säugerzellen in Kulturen hat.
- (21) (Woelders, de Wit et al. 2017), S. 186: Es wurden keine schlüssigen Beweise für eine induzierte embryonale Mortalität oder Fehlbildungen durch die

Exposition gegenüber den verwendeten EMF oder für Auswirkungen auf die anderen gemessenen Parameter gefunden.

- (60) (Technopolis 2015), S. 18: [...] ob die Exposition gegenüber extrem niedrige Frequenz- (Extremely Low Frequency – ELF) und HF-Strahlung (High Frequency – HF) eine DNA-Schädigung in Zelllinien von Mäusen und Menschen verursacht hat. Sie beobachteten keine signifikante oder konsistente Wirkung und kamen zu dem Schluss, dass die Strahlungsschwellen der niederländischen und europäischen Regierung einen angemessenen Schutz bieten.
- (61) (Technopolis 2015), S. 19: Auswirkungen der EMF-Exposition (GSM, WLAN, DECT und UMTS) auf Hühnerembryonen. Sie kommen zu dem Schluss, dass die Ergebnisse keine eindeutigen Hinweise darauf liefern, dass diese Felder zu Fehlern in der embryonalen Entwicklung führen. Dennoch empfehlen sie Folgeuntersuchungen, um spezifische Beobachtungen zu reproduzieren und zu validieren.
- (62) (Technopolis 2015), S. 19: In einer separaten Studie [...], in der mögliche Auswirkungen auf immunologische Prozesse auf zellulärer Ebene analysiert wurden, fanden sich keine Hinweise auf eine Wirkung.
- (63) (Technopolis 2015), S. 19: In einer separaten Studie [...] ergaben sich keine Auswirkungen der UMTS-Exposition auf die Entwicklung und physiologische Leistungsfähigkeit von Honigbienen.

(II) Die Befundlage ergänzend aber nicht in der Tabelle aufgeführt sind Ergebnisse aus exposimetrischen und dosimetrischen Studien

- (Adibzadeh, Verhaart et al. 2015), S. 995: Hyperthermie (HT), bei der intensive HF-Energie auf einen Zielbereich fokussiert wird. Tiefenhyperthermie im Kopf- und Halsbereich beinhaltet das Induzieren von Energie auf ein Ziel mit 434 MHz über 60 Minuten. Zwar ist die Exposition des Gehirns gegenüber Streustrahlung nach wie vor beträchtlich, doch bisher wurden nur sehr begrenzte Nebenwirkungen beobachtet. [...] Die Ergebnisse zeigen, dass die maximal induzierte SAR im Gehirn der Patienten die aktuellen Basisgrenzwerte (IEEE und ICNIRP) auf psSAR10g für Arbeitsumgebungen um das 14-fache überschreiten kann. Selbst unter Berücksichtigung der hohen lokalen SAR im Gehirn ergab die Bewertung der akuten Wirkungen nach den Allgemeinen Toxizitätskriterien keine Hinweise auf eine schwerwiegende akute neurologische Wirkung.
- (Adibzadeh, Bakker et al. 2015), S. 66: Die Ergebnisse zeigen, dass die Variation der gemittelten SAR zwischen den verschiedenen Köpfen bis zu 16,4 dB bei einem Würfel von 1 cm³ im Gehirn erreichen kann [...]. Abschließend zeigen wir die Bedeutung der Kopfmorphologie als Quelle der Unsicherheit hinsichtlich dosimetrischer Studien zu Mobiltelefonen. Daher sollte jede dosimetrische Analyse, die sich mit der HF-Dosis in einer spezifischen Region



des Gehirns befasst (z. B. Tumorrisikoanalyse), auf einer realen Morphologie basieren.

- (Adibzadeh, van Rhooen et al. 2016), S.488: Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Basisgrenzwerte für den Spitzenwert der über 10 g räumlich gemittelten SAR (10 W kg⁻¹) und den Spitzenwert für den Temperaturanstieg im Gewebe (1 °C) um das bis zu 10,4- und 4,6-fache überschritten werden. Die Auswertung der akuten Wirkungen [...] ergab keinerlei Hinweise auf eine schwerwiegende akute Wirkung auf den Augenapparat, obwohl die Augen hohen elektromagnetischen Feldern ausgesetzt waren, was zu einer hohen thermischen Dosis führte.
- (Aerts, Joseph et al. 2016), S.482: [...] ein relativer Fehler von weniger als 3,5 dB bei einem Datensatz mit einem geschlossenen Messring um eine ausreichend große Fläche (1 km², mit einem durchschnittlichen Mindestabstand der umgebenen Fläche zum Ring von weniger als 100 m) erreicht wird.
- (Bakker, Paulides et al. 2010), S.3115: Eine Sensitivitätsstudie ergab eine erweiterte Unsicherheit von 53 % (SAR_{wb}) und 58 % (SAR_{10g}) aufgrund von Abweichungen hinsichtlich der Simulationseinstellungen und Gewebeeigenschaften. In dieser Studie haben wir festgestellt, dass der Basisgrenzwert der SAR_{wb} bei Kindern gelegentlich überschritten wird, bei Kleinkindern bis zu maximal 45 %. Die maximalen SAR_{10g}-Werte, die normalerweise bei Körpervorwölbungen zu finden sind, bleiben für alle untersuchten Szenarien unter dem Grenzwert. Unsere Ergebnisse weisen eine gute Übereinstimmung mit der Literatur auf, was darauf hindeutet, dass die empfohlenen ICNIRP-Referenzwerte möglicherweise einer Feinabstimmung bedürfen.
- (Bakker, Paulides et al. 2011), S.4967: Die Finite-Difference-Time-Domain-(FDTD-)Modellierung wurde verwendet, um T (incr,max) bei sechs Kindern und zwei Erwachsenen zu berechnen, die orthogonalen Planwellenkonfigurationen ausgesetzt waren. In Anbetracht der Unsicherheiten in den Modellparametern haben wir festgestellt, dass für Worst-Case-Szenarien bei den ICNIRP-Referenzwerten ein Spitzentemperaturanstieg von bis zu 1 °C auftreten kann.
- (Beekhuizen, Vermeulen et al. 2013), S.202: Die durchschnittlich gemessene Feldstärke von GSM900 betrug 0,21 V/m und von UMTS 0,09 V/m. In dem Modell wurden die GSM900-Feldstärken um 0,07 V/m unterschätzt und die UMTS-Feldstärken um 0,01 V/m leicht überschätzt. NISMap bietet eine zuverlässige Möglichkeit, die Exposition gegenüber HF-EMF in der Umgebung für epidemiologische Studien zu HF-EMF und Gesundheit in Ballungsgebieten zu bewerten.
- (Beekhuizen, Vermeulen et al. 2014), S.22: Wir fanden eine Spearman-Korrelation von 0,73 zwischen modellierten und gemessenen HF-EMF des gesamten Downlinks von Basisstationen. Die durchschnittliche modellierte und gemessene HF-EMF betrug 0,053 bzw. 0,041 mW/m² und die Genauigkeit

- (Standardabweichung der Unterschiede zwischen vorhergesagten und gemessenen Werten) betrug $0,184 \text{ mW/m}^2$. Die Berücksichtigung von Informationen zu Gebäudeeigenschaften verbesserte die Modellvorhersagen nicht. Obwohl es eine Fehlklassifizierung der Exposition gibt, kommen wir zu dem Schluss, dass eine zuverlässige Einordnung der HF-EMF von Mobilfunkbassstationen in Innenräumen für epidemiologische Studien machbar ist.
- (Beekhuizen, Heuvelink et al. 2014), S. 148: Mit einem mittleren Variationskoeffizienten von 1,5 war die Unsicherheit bei modellierten HF-EMF-Werten recht groß. Die Unsicherheit hinsichtlich der Höhe des Empfängerstandortes, der Gebäudedämpfung und der Gebäudehöhe trug am meisten zur Unsicherheit der Modellergebnisse bei. Für die Einordnung und Klassifizierung der Exposition waren die Höhen von Gebäuden und Empfängerstandorten die wichtigsten Unsicherheitsfaktoren.
- (Beekhuizen, Kromhout et al. 2015), S. 1: Die Modellergebnisse wurden mit Messungen im Freien verglichen, die im niederländischen Amsterdam vorgenommen wurden. Die Ergebnisse zeigten eine gute Übereinstimmung zwischen modellierten und gemessenen HF-EMF, wenn 3D-Gebäudedaten und grundlegende Antenneninformationen (Lage, Höhe, Frequenz und Richtung) verwendet wurden.
- (Bolte, van der Zande et al. 2011), S. 652: Das Exposimeter EME Spy 121 [...], dass diese Messungen dazu neigen, die tatsächliche Exposition zu unterschätzen. Daher sollte ein maximaler frequenzabhängiger Korrekturfaktor von 1,1 bis 1,6 auf das elektrische Feld angewendet werden.
- (Bolte 2016), S. 724: Die wichtigsten Ergebnisse beinhalten die Erkenntnis, dass, wenn die Verzerrungen nicht korrigiert werden, die tatsächliche Belastung im Durchschnitt eher unterschätzt wird.
- (Christ, Guldemann et al. 2012), S. 695: Bei einem generischen Worst-Case-Kochfeld gemäß den Messnormen übersteigt die Stromdichte die ICNIRP-Basisgrenzwerte von 1998 um bis zu 24 dB oder einen Faktor 16. Das Hirngewebe von Kleinkindern kann der Strahlung um 6 dB oder einen Faktor 2 übermäßig ausgesetzt sein. Die Exposition des Gewebes des zentralen Nervensystems des Fötus kann die für die Allgemeinheit geltenden Grenzwerte überschreiten, wenn die Mutter der Strahlung auf beruflicher Ebene ausgesetzt ist. Dies zeigt, dass die Methodik zur Prüfung von Induktionskochfeldern gemäß IEC 62233 mit den Basisgrenzwerten in Widerspruch steht.
- (Goedhart, Vrijheid et al. 2015), S. 538: Die Ergebnisse zeigten, dass die Teilnehmer die Anzahl der von ihnen getätigten Anrufe im Durchschnitt unterschätzten, während sie die gesamte Gesprächsdauer eher überschätzten. Die Teilnehmer hielten das Telefon für etwa 90% der gesamten Gesprächszeit nah an ihrem Kopf, hauptsächlich auf der Seite des Kopfes, die sie als dominant bezeichneten.



- (Goedhart, Kromhout et al. 2015), S.812: Diejenigen, die laut eigenen Angaben eher die rechte Seite benutzen, hielten das Telefon zu 70,7% der gesamten Gesprächszeit auf der rechten Seite des Kopfes, während Nutzer der linken Seite es zu 66,2% auf der linken Seite des Kopfes hielten. Der Prozentsatz der gesamten Gesprächszeit, der für die Nutzung von Freisprecheinrichtungen (Headset, Lautsprecher-Modus, Bluetooth) verzeichnet wurde, nahm mit zunehmender Häufigkeit der angegebenen Nutzung von Freisprecheinrichtungen zu.
- (Huss, Murbach et al. 2016), S.62: Die neuen Geräte ermöglichen ein hohes Maß an Flexibilität in Bezug auf die Wahl des genutzten elektromagnetischen Signals, des Ausgangsleistungspegels und des Standortes (zu Hause oder eine andere von den Testpersonen gewählte Umgebung).
- (Martens, Bolte et al. 2015), S.221: Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine aussagekräftige Einordnung der persönlichen HF-EMF erreicht werden kann, obwohl die Korrelation zwischen Modellvorhersagen und persönlichen HF-EMF-Messungen über 24 Stunden geringer ist als bei Messungen im häuslichen Umfeld.
- (Martens, Slotje et al. 2016), S.988: Wir haben eine aussagekräftige Einordnung der persönlichen Downlinkexposition unabhängig vom Grad der Urbanisierung erreicht, was darauf hindeutet, dass diese Modelle einen guten Indikator für die persönliche Exposition in Gebieten mit unterschiedlichem Aufbau liefern können.
- (Urbiniello, Huss et al. 2014), S.1028: Wir kommen zu dem Schluss, dass die mobile Überwachung der Exposition gegenüber der Strahlung von Mobilfunkbasisstation mit tragbare Belichtungsmesser (Portable Exposure Meters – PEM) aufgrund der hohen Wiederholgenauigkeit der Expositionswerte von Mobilfunkbasisstationen trotz der hohen räumlichen Variation sinnvoll ist.
- (van Wel, Vermeulen et al. 2017), S.400: In einer großen Stichprobe von Grundschulen in Amsterdam wurden niedrige HF-EMF-Werte festgestellt, wobei Mobilfunkdownlink- (37,9%) und DECT-Signale (27,3%) den größten Anteil ausmachen. Während unsere Analyse zeigt, dass das Vorhandensein eines Wi-Fi-Routers nur wenig Einfluss auf die HF-EMF-Werte hat, waren die absoluten Werte niedrig. Hierbei machten die Wi-Fi-Signale in den Klassenzimmern nur 4,5% des gesamten HF-EMF-Werts aus. Obwohl die absoluten HF-EMF-Werte niedrig waren, kann durch die Steuerung von Quellen in Innenräumen noch ein gewisser Einfluss ausgeübt werden.
- (Cabot, Christ et al. 2014), S.369: Für die untersuchten Fälle liegt die Exposition der Mutter immer unterhalb oder in der Größenordnung der Basisgrenzwerte für Exposition auf dem Referenzniveau. Bei der Anwendung der für die Allgemeinheit geltenden Referenzwerte wird der Fötus von der Mutter ausreichend geschützt. Die Basisgrenzwerte für die Exposition der Allgemeinheit

können jedoch beim Fötus überschritten werden, wenn die Mutter auf dem Niveau der Referenzwerten für Arbeitsumgebungen exponiert ist. (Kok, Wust et al. 2015), S. 169: Es gibt einen klaren thermischen Dosis-Wirkung-Zusammenhang, doch die angestrebte optimale thermische Dosis von 43 °C für eine Stunde kann oft nicht realisiert werden, da die Behandlung die Hot Spots im Normalgewebe begrenzt. Moderne Erhitzungsvorrichtungen verfügen über eine große Anzahl unabhängiger Antennen, was eine flexible Leistungssteuerung zur Optimierung des Erhitzens von Tumoren und zur Minimierung von Hot Spots ermöglicht, aber die manuelle Auswahl der optimalen Einstellungen ist schwierig.

8.1.2.4 Schweiz: NFP57- und FSM-Aktivitäten

Charakterisierung der betrachteten Forschungsaktivitäten

Zwischen 2006 und 2010 wurde vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung das Nationale Forschungsprogramm »Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit« (NFP57; NFP: Nationales Forschungsprogramm) finanziert und organisiert (dazu und zum Folgenden FSM 2017, S. 26). Das im Vergleich mit anderen nationalen Forschungsprogrammen kleine Programm endete offiziell 2012.

Zusätzlich dazu wird die EMF-Forschung seit 2002 von der Forschungstiftung Strom und Mobilkommunikation (FSM) gefördert. Die FSM ist eine gemeinnützige Stiftung mit Sitz an der ETH Zürich.⁹⁷ Bei den geförderten Projekten macht die Mobilfunkthematik, und darin biologisch-gesundheitliche Fragestellungen, den größten Teil aus. Die für den vorliegenden Bericht relevanten Projekte im Bereich Hochfrequenzstrahlung des FSM-Programms sind folgende:

1. Ein ferromagnetischer Wirkmechanismus für biologische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung
2. Auswirkungen elektromagnetischer Felder des Typs GSM auf Schlaf, Schlaf-EEG und regionale Hirndurchblutung
3. Der Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung auf die Entwicklung und Molekularbiologie des Mooses *Physcomitrella patens* und des Wurms *Caenorhabditis elegans*
4. Mutagenitätsuntersuchungen von GSM- und UMTS-Feldern mit dem Tradescantia- Kleinkerntest
5. Effekte niederfrequenter Signalkomponenten von Handystrahlung auf die Gehirnaktivität

⁹⁷ Sie wird finanziell von der Industrie getragen. Firewalls verhindern, dass Sponsoren einen Einfluss auf die Forschungsentscheide der Stiftung nehmen können. Die Stiftung wird zudem durch regierungs- und nichtregierungs-Organisationen (ideell) mitgetragen.



6. Dosis-Wirkung-Beziehung von GSM-Feldern (Typ Handy) auf Schlaf und Schlaf-EEG
7. Machbarkeitsstudie zu epidemiologischen Studien über mögliche Gesundheitseffekte durch Basisstationen
8. EMF und Hirn: Effekte auf zerebralen Blutfluss und Blutvolumen sowie auf neurale Aktivität
9. Einfluss von UMTS Radiofrequenz Feldern auf das Wohlbefinden und kognitive Funktionen bei elektrosensiblen und nichtelektrosensiblen Personen
10. Apoptose in kultivierten Hirnzellen nach Hochfrequenzbestrahlung
11. Der Zusammenhang zwischen tatsächlicher HF Exposition und Dosimetermessungen
12. Das Thermosensorprotein GrpE des Hitzeschockproteinsystems Hsp70 als Target für EM. Felder
13. CEFALO: Internationale Fallkontrollstudie zu den Ursachen von Hirntumoren bei Kindern und Jugendlichen
14. In-vivo Studie zu Mobilfunkstrahlung und Produktion von Radikalen
15. Analyse des Einflusses von HF und NF-EMF auf Signalfade zwischen Genen und Krankheiten
16. Mobiltelefon: Schlaf und kognitive Leistungen
17. Abschätzung der durch Mobiltelefone (GSM, UMTS) induzierten niederfrequenten Ströme im menschlichen Kopf
18. Neuroinflammation und Mobilfunkexposition
19. Ursachen unterschiedlicher individueller Reaktionen auf elektromagnetische Felder
20. Zelluläre und molekulare Effekte gepulster elektromagnetischer Felder
21. Neue Ansätze, um den Beitrag von Nahkörperquellen an der persönlichen HF-Exposition zu erfassen
22. Identifikation und Gruppenbildung experimenteller Parameter von in-vitro Studien mit hochfrequenter EMF
23. Systematischer Review von Studien zur Exposition gegenüber hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung im Alltag
24. Biologische und gesundheitsbezogene Auswirkungen des Kontakts mit Millimeterwellen und THz – Studienergebnisse, Qualitätsaspekte und Wissenslücken

Aus dem NFP57 wurden folgende Projekte bewertet:

25. Bestimmung der Belastung des Fötus durch elektromagnetische Felder in unkontrollierter Umgebung
26. Kumulative Exposition des zentralen Nervensystems im Zeit- und Frequenzbereich
27. Mikroskopische Untersuchungen von Zellen während der Exposition durch elektromagnetische Felder

28. Auswirkungen von pulsmodulierten elektromagnetischen Feldern im Mobilfunkbereich auf das menschliche Gehirn: kritische Feldparameter, Ort der Interaktion und Sensitivität in der frühen Adoleszenz
29. Prospektive Kohortenstudie zum Einfluss von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität
30. Untersuchung der Effekte von UMTS-Feldern auf die Gehirndurchblutung mit Nahinfrarot-Imaging
31. Effekte nichtionisierender Strahlung im Modellorganismus *Caenorhabditis elegans*
32. Wirkungen von elektromagnetischen Feldern in vitro und in vivo: Interaktionen mit Faktoren der Stressantwort
33. Genotoxische Effekte von nichtionisierender Strahlung

Studien zur Risikokommunikation sind nicht miteingeschlossen. Die Kernpunkte der dosimetrisch orientierten Studien sind ab Seite 293 zusammengestellt.

Vorgehen und grafische Darstellung der Befundlage

Die zum Zeitpunkt des Gutachtens vorliegenden Ergebnisse der zwei Programme hat die FSM (2017) in Abbildung 8.4 zusammengestellt (dazu und zum Folgenden, siehe FSM 2017, S. 26). Als Quellen zu den Projektbefunden verwenden sie, wenn nicht explizit anders angegeben, Zitate aus den von den Projektnehmern verfassten Endberichten, die auf der Website der FSM zu finden sind.⁹⁸ Da diese Berichte sehr kurz sind, gibt die FSM (2017) für diese Belege keine Quellenverweise an, auch keine Seitenzahl des Dokuments. In Ausnahmefällen wird auf wissenschaftliche Publikationen verwiesen. Dabei werden Erstautoren, Jahres- und Seitenzahl angegeben. Für die Befunde aus dem NFP57 bezieht sich die FSM (2017) auf die Darstellung der Projektergebnisse in der »Programmsynthese« des SNF (Negovetic und Regel 2011) und versetzen die extrahierten Zitate mit ihrer Seitenzahl.

Zur Darstellung der globalen wissenschaftlichen Meinung und entsprechenden Einfärbung der Zelle verwendet die FSM (2017) die Beurteilungen der Programmleitung des NFP57, wie sie im Schlussbericht⁹⁹ von (Negovetic und Regel 2011) zu finden sind. In der Tabelle sind sie als Seitenzahl (Format: [S. 46a]) festgehalten. Die entsprechenden Quellen sind am Ende der Zitatliste unter (Negovetic und Regel 2011) und Angabe der Seitenzahl zu finden.

Schweizerischer Nationalfonds (2011): Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit. Programmsynthese Nationales Forschungsprogramm NFP 57. www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/nfp/nfp57/nfp57_synthese_d.pdf (28.9.2020)

⁹⁸ www.emf.ethz.ch/de/foerderung/projekte/?text=50%25252520hz (20.10.2020)

⁹⁹ Siehe die »Schlussfolgerungen für Gesundheit und Umwelt« ab S. 45 des Berichts.



Tab. 8.4 Resultate der Schweizer Programme

NFP57-Projekte: mit Seitenzahl [S.]; FSM-Projekte: ohne Buchstabe

	Zell- studien	Tier- studien	Humanstudien		
			Biologie	Gesund- heit akut	Gesundheit chronisch
Krebs	10				
<i>Tumore im Kopfbereich</i>					
<i>Tumore bei Kindern</i>					13
<i>andere Tumore</i>	20				
Neurodegeneration/ neuronale Zellen	20	14, 18			
Fertilität					
Entwicklung					
kardiovaskulär/ Blutsystem			2, 8, 35, S. 46f	S. 46b	
EEG			2, 5, 6, 33a	S. 46a	
Kognition			6, 9, 33c, S. 46e	S. 46c	
<i>Kinder</i>					
Schlaf			6, 16, 33b, 34, S. 48d	S. 48d	
<i>Kinder</i>					
unspezifische Symp- tome				9, 34	34, S. 48c
<i>Nozeboeffekt</i>					
<i>Kinder</i>					
Hormone/Drüsen					
<i>Melatonin</i>					
<i>Stressproteine/ Genexpression</i>					
Blut-Hirn-Schranke					
Verhalten allg.		3			
<i>Kinder und Jugendliche</i>					

Wirkmechanismen				S. 48b	S. 48b
<i>Genschädigung</i>	4, S. 48a				
<i>Sauerstoffradikale</i>		14			
<i>Genexpression</i>					
<i>Zellfunktionen/Membran</i>	12, 15, 36, 37, S. 48e	1, 37			
anderes					
<i>Kinder und Jugendliche allg.</i>				S. 46d	S. 46d
<i>ältere Menschen</i>				S. 46d	S. 46d
<i>Immunsystem</i>					
<i>Metabolismus</i>					
<i>Sinne (Gehör, Netzhaut)</i>					
<i>Zellen allg.</i>	22, 24				

Effekt ausreichend nachgewiesen	Effekt limitiert nachgewiesen	Effekt inadäquat nachgewiesen*	kein Effekt nachgewiesen

Quelle: FSM 2017, S. 27

Zitatliste

- (1) Diese Ergebnisse scheinen darauf hinzuweisen, dass, wenn die in den Mobiltelefonexperimenten beobachtete Wirkung verifiziert wird, sie wahrscheinlich das Resultat niederfrequenter Magnetfeldkomponenten des Mobiltelefonsignals ist.
- (2) Unsere Ergebnisse zeigen zum ersten Mal, dass pulsmodierte EMF die Blutversorgung des Gehirns (Regional Cerebral Blood Flow – rCBF) im Wachzustand verändern und dass eine Pulsmodulation der EMF notwendig ist, um Veränderungen des EEG im Wach- und Schlafzustand zu induzieren. Die Exposition gegenüber pulsmodulierten EMF kann eine neue, nichtinvasive Methode zur Modifizierung der Gehirnfunktion für experimentelle, diagnostische und therapeutische Zwecke darstellen.
- (3) Es wurde ein Effekt hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Kleine Blasenmützenmoos (*Physcomitrella patens*) nach kontinuierlicher Exposition gegenüber einem Feld hoher Intensität (Effektivwert RMS von 353 V/m) festgestellt. Dieser Effekt war identisch mit denen einer milden Wärmebehandlung. Wenn ein gepulstes Feld mit dem gleichen Effektivwert (RMS) angelegt wurde (20 s/60 s), verschwand der beobachtete Effekt vollständig. Fadenwürmer der Art *Caenorhabditis elegans* reagieren auf elektromagnetische Felder eines Effektivwerts von 100 V/m mit einer



Erhöhung ihrer aktiven Beweglichkeit (Motilität). Dies steht in deutlichem Kontrast zur Hitzeschockbehandlung, die zu einer Reduktion der Motilität der Würmer führt.

- (4) Einige unserer Experimente mit elektromagnetischen Feldern, die durch GSM und UMTS erzeugt werden, führten zu höheren Mikronukleuswerten (Micronucleus – MCN) bei Pflanzen der Gattung *Tradescantia*. Die Ergebnisse aller Experimente sind jedoch nicht konsistent.
- (5) Die Probanden [...] zeigten signifikante Zu- und Abnahmen der spektralen Leistungsdichte des EEG bei verschiedenen Hirnwellenfrequenzen. Das konsistenteste Ergebnis war eine nachgewiesene Zunahme der elektrischen Aktivität im Gamma-Band.
- (6) Während die Schlafarchitektur durch die EMF-Exposition nicht beeinträchtigt wurde, zeigte die Analyse des Schlaf-EEGs eine dosisabhängige Erhöhung der Leistung im Spindelfrequenzbereich beim orthodoxen Schlaf (Non-Rapid Eye Movement sleep – non-REM sleep). Die Reaktionsgeschwindigkeit verlangsamte sich bei der 1-back-Aufgabe mit zunehmender Feldstärke, während die Genauigkeit bei dem Test der kognitiven Reflexion (Cognitive Reflection test – CRT) und bei dem Gedächtnisleistungstest N-back nicht dosisabhängig beeinträchtigt wurde. Zusammenfassend zeigt diese Studie erste Hinweise auf eine Dosis-Beziehung zwischen der Feldstärke der EMF und ihren Auswirkungen auf die Gehirnphysiologie, wie sie durch Veränderungen im Schlaf-EEG und in der kognitiven Leistung gezeigt werden.
- (8) Es wurden grenzwertig signifikante unmittelbare Reaktionen von Oxyhämoglobin (O₂Hb) und Desoxyhämoglobin (HHb) auf EMF festgestellt, d. h. innerhalb von 20 s während der Exposition [...] es besteht eine relativ hohe Wahrscheinlichkeit, dass diese Reaktionen auf Zufall zurückzuführen sind, [...] keine nachweisbare Reaktion von O₂Hb oder/und HHb auf EMF innerhalb von 40 s nach der Exposition, [...] keine nachweisbare langsame Reaktion von O₂Hb oder/und HHb auf EMF, die innerhalb von 20 min auftritt, [...] keine nachweisbare Dosis-Wirkung-Beziehung.
- (9) (Regel, Negovetic et al. 2006), S. 1270: Im Gegensatz zu einer kürzlich durchgeführten niederländischen Studie konnten wir keine kurzfristigen Auswirkungen einer Exposition ähnlich der einer UMTS-Basisstation auf das Wohlbefinden bestätigen. Die berichteten Auswirkungen auf die Gehirnfunktion waren marginal und könnten zufällig aufgetreten sein. Die räumliche Spitzenabsorption im Hirngewebe war wesentlich geringer als bei der Nutzung eines Mobiltelefons.
- (10) (Moquet, Ainsbury et al. 2008), S. 287: Es wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich der Apoptosewerte zwischen den exponierten und scheinexponierten Zellen unter Verwendung der drei Proben zu einem beliebigen Zeitpunkt nach der Exposition beobachtet. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass HF-Expositionen, die für GSM-Mobiltelefone

- charakteristisch sind, die Apoptose-Werte in der proliferierenden und differenzierten murinen Neuroblastomzelllinie N2a nicht signifikant beeinflussen.
- (12) (Beyer, Christen et al. 2014), S.470: Die mit den verschiedenen experimentellen Protokollen erzielten Ergebnisse zeigen jedoch, dass das Konformationsgleichgewicht von GrpE unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Feldern im getesteten Frequenz- und Feldstärkebereich ist.
- (13) [...] dass die Resultate der CEFALO-Studie nicht auf einen ursächlichen Zusammenhang zwischen dem Mobiltelefongebrauch und dem Hirntumorrisiko von Kindern und Jugendlichen hindeuten. Allerdings war die Nutzungsdauer in dieser Studie relativ gering. Daher lassen sich keine Aussagen über längere oder intensivere Handybenutzung ableiten.
- (14) Zusammenfassend testeten wir einzelne und wiederholte Expositionen gegenüber GSM-1800 und UMTS auf oxidativen Stress im Gehirn junger adult und älterer Ratten [...] Wir fanden keine Hinweise darauf, dass die Exposition gegenüber GSM-1800 und UMTS zu schädlichen Wirkungen durch oxidative Stressinduktion führen könnte.
- (15) (Parham, Portier et al. 2016), S. 1: HF-EMF-Datensätze wurden nicht stark mit irgendwelchen Störungen, sondern stark mit Veränderungen bei verschiedenen [molekularen] Wegen verknüpft. Auf der Grundlage dieser Analysen wäre der vielversprechendste Bereich für weitere Forschung die Konzentration auf EMF und neurologische Funktionen und Störungen.
- (16) Somit scheint die RF-EMF Exposition während der Nacht mit der Normalisierung der kortikalen Erregbarkeit während dem Schlaf, welche durch die LWA widerspiegelt wird, zu interagieren. Diese Interaktion mit einer Normalisierungsfunktion des Schlafes hat möglicherweise negative Auswirkung auf die schlafabhängige Leistungsverbesserung.
- (18) Insgesamt deuten die erhaltenen Ergebnisse auf keine proinflammatorischen Auswirkungen der GSM-900- und UMTS-Signale im Gehirn von Ratten hin, die wiederholt für 4 Wochen, nur mit dem Kopf und bis zu 15 W/kg exponiert wurden [...] Wir haben jedoch einen differentiellen Effekt des GSM-900-Signals im Vergleich zum UMTS-Signal festgestellt [...] Der Spitzenleistungspegel ist somit im Gehirn von Ratten, die dem GSM-900-Signal ausgesetzt waren, höher und könnte den differentiellen Effekt erklären.
- (19) [...] unsere Ergebnisse implizieren, dass es kein biologisches Merkmal dafür gibt, wie Probanden auf HF-EMF-Exposition reagieren.
- (20) (FSM 2017), S. 28: Zuerst wurde versucht die publizierte Reduktion der Vermehrung einer spezifischen Brustkrebszelllinie nach Behandlung mit PEMF zu bestätigen. Im Weiteren untersuchten wir, ob die PEMF-vermittelte Reduktion des Zellwachstums eine allgemeine Reaktion von Krebszellen oder eher auf ein definiertes Spektrum von Krebsarten beschränkt ist [...] haben aber weder eine Reduktion der Zellzahl noch eine Zunahme von



abgestorbenen Zellen feststellen können, obwohl verschiedene Analysemethoden, Zeitpunkte und experimentelle Expositionsbedingungen getestet wurden.

- (22) [...] je geringer die Qualität der Expositionsbedingung, desto mehr positive Ergebnisse wurden festgestellt. Dies traf selbst dann zu, wenn die drei spezifischen HF-bezogenen Expositions-kriterien wie Temperatur, Scheinexposition und Dosimetrie berücksichtigt wurden. Insbesondere beim Übergang von einem Qualitätskriterium (Q1) zu fünf (Q5) beobachteten wir eine zunehmende negative Assoziation von positiven Ergebnissen und der Anzahl der erfüllten Kriterien, mit einem signifikanten Rückgang der positiven Auswirkungen für Q5.
- (24) [...] diese Studien liefern einige Hinweise darauf, dass eine LTE-Exposition die Hirnaktivität akut beeinflussen kann [...] die biologische Bedeutung der Ergebnisse, sofern vorhanden, ist unklar [...] eine Gruppierung der Ergebnisse ist nur möglich, wenn eine angemessene Anzahl von Studien zur Verfügung steht, die ähnliche biologische Endpunkte untersuchen. Da dies bei Millimeterwellenstudien (MMW-Studien) nicht der Fall ist, ist eine detaillierte Analyse der durchgeführten Experimente nicht durchführbar [...] [THz-Studien] Obwohl sich viele Studien auf Genotoxizität, Gen- und Proteinexpression oder Zellproliferation konzentriert haben, sind die Studien noch zu unterschiedlich, um Rückschlüsse auf mögliche Effekte zu erlauben.
- (33a) (Negovetic und Regel 2011), S.25: Die 2-Hz und 14-Hz pulsmodierte Exposition zu HF EMF bewirkte eine Zunahme der spektralen Leistungsdichte des Schlaf-EEG im Frequenzbereich von Schlafspindeln.
- (33b) (Negovetic und Regel 2011), S. 7: Andererseits induzierte ein 2 Hz gepulstes Magnetfeld ohne den HF EMF Teil diesen Effekt nicht. Die Schlafqualität und die Schlafstadien wurden durch keine der Behandlungen beeinflusst [...] Subkortikale Hirnstrukturen scheinen also nicht der primäre Wirkungsort von HF EMF zu sein.
- (33c) (Lustenberger, Murbach et al. 2013), S.805: Die Veränderungen im zeitlichen Verlauf der SWA (Sleep Slow-Wave Activity – SWA) während der nächtlichen Exposition können eine Wechselwirkung von HF-EMF mit der Renormalisierung der kortikalen Erregbarkeit während des Schlafes widerspiegeln, mit einem negativen Einfluss auf die schlafabhängige Leistungsverbesserung.
- (34) (Negovetic und Regel 2011), S.8: Die Umweltexposition gegenüber HF EMF zu Beginn der Studie zeigte keinen Zusammenhang mit Gesundheitsstörungen, die ein Jahr später registriert wurden. Auch eine Zu- oder Abnahme der individuellen HF-EMF-Exposition innert eines Jahres wies keinen Zusammenhang auf mit einer entsprechenden Veränderung von Gesundheitsstörungen. Es konnte auch kein Zusammenhang zwischen Aktimeteraufzeichnungen während des Schlafes und HF-EMF-Exposition im

Schlafzimmer beobachtet werden. In Bezug auf nahe am Körper liegende Strahlungsquellen gab es keinen Zusammenhang zwischen dem Gebrauch von mobilen oder drahtlosen Telefonen und gesundheitlichen Aspekten der Lebensqualität. Auch ergab die Studie keinen Hinweis darauf, dass Personen, die sich selbst als sehr empfindlich gegenüber EMF (Elektromagnetische Hypersensibilität; EHS) betrachteten, anfälliger gegenüber HF-EMF Exposition waren als nicht EHS-Personen.

- (35) (Negovetic und Regel 2011), S. 7: Expositionsinduzierte Veränderungen von Blutzirkulation und Herzschlag wurden festgestellt. Kurzfristige Veränderungen waren kleiner als durch normale funktionelle Aktivierung des Gehirns ausgelöste Veränderungen. Mittelfristige Veränderungen lagen im Rahmen der funktionellen Fluktuation. Kurzfristige Veränderungen wurden nur bei der tieferen Intensität gemessen, was gegen Temperatureffekte als Ursache spricht.
- (36) (Negovetic und Regel 2011), S. 8: Basierend auf den untersuchten Parametern hat HF-EMF keinen Effekt auf die zelluläre Proteinhomöostase
- (37) (Negovetic und Regel 2011), S. 8: Die Resultate mit einer genetisch veränderten *C. elegans* zeigen, dass HF EMF die DAF-16 aktivierte Signaltransduktion zu beeinflussen scheint [...] dass HF EMF als echter Stressor wirken und Proteine des Apoptosesignalwegs induzieren könnte.
- (38) (Negovetic und Regel 2011), S. 6: Die Resultate von biochemischen Analysen und der Beobachtung lebender Zellen deuten darauf hin, dass die im Comet Assay beobachteten scheinbar genotoxischen Effekte von intermittierender ELF-MF-Exposition mit grosser Wahrscheinlichkeit durch eine sekundäre zelluläre Reaktion auf das Feld ausgelöst wurden und nicht eine direkt oder indirekt durch ELF MF bewirkte DNS-Schädigung darstellten.
- (Negovetic und Regel 2011), S. 46a: Zusammenfassend deuten die vorliegenden Resultate nicht auf nachteilige Auswirkungen von akuter EMF Exposition auf das Gehirn hin.
- (Negovetic und Regel 2011), S. 46b: Die gemessenen Stärken der EMF induzierten Veränderungen der kortikalen Durchblutung lagen innerhalb der physiologischen Variabilität von normaler Hirnaktivität und waren im Vergleich zu Veränderungen, welche durch Stress oder physische Aktivität ausgelöst werden, klein. Sie sollten deshalb nicht Anlass zu gesundheitlichen Bedenken geben.
- (Negovetic und Regel 2011), S. 46c: Auch wurden keine negativen Auswirkungen auf das Wohlbefinden oder die kognitive Leistung gefunden.
- (Negovetic und Regel 2011), S. 46d: Es sollten jedoch weitere Studien durchgeführt werden, [...] um die Probandenpopulation über gesunde junge Männer hinaus auszudehnen.



- (Negovetic und Regel 2011), S.46e: Eine kleine Auswirkung auf die Kognition könnte vorhanden sein, da das 217 Hz pulsmodulierte Signal die Reaktionszeit (nicht aber die Genauigkeit der Leistung) zu reduzieren schien.
- (Negovetic und Regel 2011), S.46f: dass es kleine Auswirkungen von periodischer UMTS-EMF Exposition auf die Hirndurchblutung geben könnte.
- (Negovetic und Regel 2011), S.48a: Die Bestätigung von EMF-induzierter DNS Fragmentierung und die Erkenntnis, dass dieser Effekt keine Folge von direkter DNS-Schädigung durch EMF ist, stellt einen wichtigen Beitrag zum Forschungsgebiet dar.
- (Negovetic und Regel 2011), S.48b: Es kann erwartet werden, dass Einsichten in Wirkungsmechanismen Grundlagen zur Bewertung von Gesundheitsfolgen liefern werden. Solche Bewertungen sind heute noch nicht möglich.
- (Negovetic und Regel 2011), S.48c: Die Untersuchung schliesst jedoch nicht aus, dass nach Betrachtung [...] anderer Endpunkte (z. B. chronische Krankheiten) Resultate von anderer Natur erhalten werden könnten.
- (Negovetic und Regel 2011), S.48d: Insbesondere wurde kein Zusammenhang zwischen dem Schlafverhalten und der Expositionssituation im Schlafzimmer gefunden [...] sollte betont werden, dass die vorliegenden Ergebnisse nicht darauf hindeuten, dass HF EMF Exposition Gesundheitsfolgen hat. Dies steht in Einklang mit der Mehrheit der publizierten Ergebnisse und stärkt die Hinweise darauf, dass keine Wirkung vorhanden ist.
- (Negovetic und Regel 2011), S.48e: Das Fließgleichgewicht von DNS-Strangbrüchen könnte durch eine Störung des Zellzyklus, der metabolischen Aktivität und der Induktion von programmiertem Zelltod beeinflusst werden.

Die Befundlage ergänzend aber nicht in der Tabelle aufgeführt sind Ergebnisse aus exposimetrischen und dosimetrischen Studien

- (Projekt 7) Alle Methoden zur Expositionsbeurteilung müssen in einem bestimmten Kollektiv validiert werden. Wir müssen uns darüber im Klaren sein, dass wir uns in der Anfangsphase befinden. Um eine valide epidemiologische Studie zu konzipieren, ist mehr Wissen über den Beitrag verschiedener EMF-Quellen zur Gesamtexposition auf der Ebene von Einzelpersonen und der Bevölkerung erforderlich. Daher werden systematische Studien zur Bewertung der individuellen Exposition verschiedener Teile der Bevölkerung empfohlen.
- (Projekt 11) Die meisten Kombinationen der Variablen führen jedoch zu einer Unterschätzung der Exposition durch das Exposimeter
- (Projekt 17) (Gosselin, Kuhn et al. 2013), S. 8339: Das B-Feld, das durch Ströme in UMTS-Telefonen induziert wird, ist um zwei Größenordnungen schwächer als das durch GSM induzierte B-Feld. Mit dem Wissen, dass die HF-Exposition durch UMTS ebenfalls um zwei Größenordnungen geringer ist

- als bei GSM, kann man nun feststellen, dass die Exposition durch dieses Kommunikationssystem insgesamt reduziert ist.
- (Projekt 21) [...] die Messungen und die anschließenden Dosisberechnungen zeigten, dass bei Jugendlichen im Durchschnitt die Exposition durch Umweltquellen im Vergleich zur Exposition durch die Nutzung drahtloser Kommunikationsvorrichtungen eine geringe Rolle spielt. Beim Vergleich der Messungen mit Studien an Erwachsenen fanden wir keinen Hinweis darauf, dass Jugendliche trotz der häufigen Nutzung von Mobilfunkgeräten stärker exponiert sind als der Durchschnitt der Bevölkerung.
- (Projekt 23) Diese systematische Übersicht zeigt, dass in vielen europäischen Ländern die typischen HF-EMF-Expositionswerte deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten liegen. Es gab keine Hinweise auf deutliche Unterschiede zwischen den Ländern oder zeitliche Trends hinsichtlich der Expositionssituation. [...] Die Dosisberechnungen bestätigen, dass Nahfeldquellen für einen moderaten Nutzer drahtloser Geräte am relevantesten sind.
- (Projekt 30) (Negovetic und Regel 2011), S.6: Die Resultate zeigen, dass für Störfelder, die mit Referenzwerten für die Allgemeinbevölkerung konform sind, die Basisgrenzwerte immer eingehalten werden. Wird die werdende Mutter dagegen maximalen Arbeitsplatzexpositionswerten ausgesetzt, kann die Exposition des Fötus über den Referenzwerten [...] liegen.
- (Projekt 31) (Negovetic und Regel 2011), S.6: Die Studie zeigte auch, dass eine mehr als 1000-fache Variabilität im Hinblick auf die Exposition unterschiedlicher Hirnregionen durch verschiedene Mobiltelefone existiert. Ferne oder quasi-ferne Quellen führen zu wesentlich tieferer Exposition des Gehirns. Hausstationen (z.B. für schnurlose Telefone oder W-LAN) führen zu SAR Werten in derselben Größenordnung wie Mobilfunkantennen im Freien.
- (Projekt 32) (Negovetic und Regel 2011), S.6: [...] ein neuartiges System entwickelt, das es ermöglicht, Vorgänge in Zellkulturen während der Exposition mit extremniederfrequenten Magnetfeldern (ENF MF) direkt zu beobachten.

8.1.2.5 Europäische Union: FP7-, EFHRAN und SCENIHR-Projekte

Charakterisierung der betrachteten Forschungsaktivitäten

Vier Forschungsprojekte der Europäischen Union sind für die Erstellung dieses Berichts evaluiert worden (dazu und zum folgenden FSM 2017, 28 f.). Alle vier Forschungsprojekte sind durch große Konsortien von Forschungsteams aus mehreren Ländern bearbeitet worden. Alle Projekte wurden durch das 7. Forschungsrahmenprogramm gefördert und teilweise durch weitere Geldgeber mitfinanziert. Nachfolgend werden die berücksichtigten Projekte kurz skizziert.



1. Generalised EMF Research using Novel Methods – an integrated approach: from research to risk (GERONIMO); Laufzeit: 2014–2018; Leitung: Elisabeth Cardis (ISGlobal); Förderung: EU/länderspezifisch

Das Projekt untersuchte in einem breiten europäischen Forscherkonsortium die möglichen Auswirkungen der Exposition gegenüber hochfrequenten (RF) und mittelfrequenten Feldern (IF) – allein und in Kombination mit anderen Umweltexpositionen – auf die Risiken von Krebs, neurodegenerativen Krankheiten, Verhalten, Reproduktion und Alterung.¹⁰⁰

2. Generalised EMF Risk of brain cancer from exposure to radiofrequency fields in childhood and adolescence (MOBI-KIDS); Laufzeit: 2009–2016; Leitung: Elisabeth Cardis (CREAL); Förderung: EU/länderspezifische Förderung

MOBI-KIDS ist eine internationale multizentrische Fallkontrollstudie über Risikofaktoren für Hirnkrebs bei jungen Menschen. An der Studie sind Expert/innen aus 16 europäischen und außereuropäischen Ländern beteiligt. Über einen Zeitraum von 5 Jahren wurden fast 2.000 junge Menschen mit Hirntumoren und etwa 4.000 gesunde junge Menschen (im Alter von 10 bis 24 Jahren) für die Teilnahme an MOBI-KIDS gewonnen. Den Studienteilnehmenden wurde ein detaillierter Fragebogen über demografische Faktoren, Wohngeschichte und Fragen zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus wurden von France Telecom SA und der britischen Gesundheitsbehörde Expositionsbewertungen durchgeführt.¹⁰¹

3. Sound Exposure & Risk Assessment of Wireless Network Devices (SEAWIND); Laufzeit: 2009–2013; Leitung: Nils Kuster (IT IS); Förderung: EU

Das SEAWIND-Projekt zielte darauf ab, die wissenschaftliche Grundlage für die Bewertung der potenziellen negativen Gesundheitsrisiken der elektromagnetischen Feldbelastung aufgrund des allgegenwärtigen Vorhandenseins von Netzwerkgeräten im Alltag zu erweitern. Das Projekt deckte dabei das gesamte wissenschaftliche Spektrum von der Dosimetrie bis zur Biologie ab. An diesem Projekt waren Expert/innen aus fünf europäischen Ländern, darunter der Schweiz, Deutschland, Belgien, Griechenland und Dänemark, beteiligt.¹⁰²

4. Low EMF Exposure Future Networks (LEXNET); Laufzeit: 2012–2015; Leitung: Joe Wiart (Orange); Förderung: EU

100 Für weiterführende Informationen siehe die Projektwebsite: <https://www.isglobal.org/en/-/geronimo-generalized-emf-research-using-novel-methods-an-integrated-approach-from-research-to-risk-assessment-and-support-to-risk-management> (28.9.2020)

101 Weiterführende Informationen siehe Projektwebsite: <http://www.mbkds.net/> (28.9.2020) sowie die Seite der Europäischen Kommission mit dem Abschlussbericht: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/89894/reporting/en> (28.9.2020)

102 Weiterführende Informationen siehe Projektwebsite: <https://seawind-fp7.eu/> (28.9.2020)

Das Forschungsprojekt LEXNET wurde von einem Konsortium aus Telekommunikationsanbietern, Forschungszentren und akademischen Institutionen aus neun europäischen Ländern initiiert mit dem Ziel wirksame Strategien zu entwickeln, um die EMF-Exposition der Bevölkerung um mindestens 50 % zu reduzieren, ohne Einbußen in der Qualität der Dienstleistung zu haben.¹⁰³

Vorgehen und grafische Darstellung der Befundlage

Als Quellen zu den Projektbefunden verwendet die FSM (2017) Zitate aus den von den Projektnehmern verfassten Veröffentlichungen. Die Aktivitäten der Projekte sind stark auf Fragen der Expositionserfassung und der Dosimetrie ausgerichtet. Die Projekte LEXNET und SEAWIND widmen sich ausschließlich oder fast ausschließlich diesem Thema (zuzüglich Risikokommunikation). Dies spiegelt sich in der Ergebnistabelle wider, in welcher keine der Projektbefunde von LEXNET und nur einzelne Projektbefunde von SEAWIND berücksichtigt werden konnten. Zudem sind die verbleibenden zwei Projekte GERONIMO und MOBI-KIDS vergleichsweise thematisch eng fokussiert, und liefern Ergebnisse zu einer relativ niedrigen Anzahl an Endpunkten. Darüber hinaus wurde die von sechs länderspezifischen Organisationen finanzierte Kohortenstudie des Forschungskollektives COSMOS zu den gesundheitlichen Auswirkungen der Nutzung von Mobiltelefonen und WLAN-Technologien in dieser Literaturübersicht nicht miteingeschlossen, weil die materiellen (gesundheitsbezogenen) Resultate zum Zeitpunkt der Erstellung des Gutachtens noch nicht publiziert waren.¹⁰⁴

Zusätzlich zu der Analyse der einzelnen Projektbefunde wurden die Bewertungen von zwei Expertengruppierungen, das Europäische Netzwerk zur Bewertung des Gesundheitsrisikos bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern (EFHRAN) und der Wissenschaftliche Ausschuss für neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken (SCENIHR) mitberücksichtigt. Während EFHRAN nahe an den Forschungsprogrammen lokalisiert ist, ist SCENIHR von der Kommission mit umfassenden Bewertungen des Wissensstandes beauftragt. Aufgrund der niedrigen Relevanz der EU-Projektbefunde für die Zwecke dieses Berichts wird die Ergebnistabelle der FSM (2017) deshalb wesentlich durch die Einschätzung von EFHRAN und SCENIHR bestimmt. Die Einschätzung der Datenlage zum entsprechenden Endpunkt durch EFHRAN und SCENIHR spiegelt sich in der Einfärbung der Zellen wider, und wird mit einem Belegzitat (Projektnummer und Buchstabenzusatz) unterlegt. In der Zitatliste wird dieselbe Notation zur Kennzeichnung der Zitate (zusammen mit der Quellenangabe – Erstautoren, Jahres- und Seitenzahl) verwendet. Hat zum fraglichen Endpunkt nur ein Gremium eine Bewertung abgegeben, wird diese verwendet. Liegt zu einem Effekt

¹⁰³ Weiterführende Informationen siehe Projektseite: <http://www.lexnet.fr/> (28.9.2020)

¹⁰⁴ Weiterführende Informationen zu diesem Projekt finden sich unter <http://www.thecosmosproject.org/> (28.9.2020)



sowohl von EFHRAN als auch von SCENIHR eine Einschätzung vor, so wird im Falle divergierender Meinungen nach dem Prinzip der evidenzbasierten Bewertung die Farbe durch die FSM festgelegt. Insgesamt stimmen bei 5 von 9 durch beide Gremien bewerteten Endpunkten die Einschätzungen nicht überein. Nachfolgend werden EFHRAN und SCENIHR kurz charakterisiert.

5. Europäisches Netzwerk zur Bewertung des Gesundheitsrisikos bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern (EFHRAN) [»European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure«]; Laufzeit: 2009–2012; Leitung: Elisabeth Cardis (CNR.ISIB); Förderung: EU

Das Projekt EFHRAN wurde als Netzwerk für die Risikobewertung zu EMF- und Gesundheitsfragen initiiert mit dem Ziel ein wissenschaftliches Netzwerk und eine Wissensplattform zu etablieren mit dem die EU auf auftretende gesundheitliche Bedenken im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber EMF reagieren kann.¹⁰⁵ Für die Auswertung der Befundlage wurde folgender Bericht analysiert: EFHRAN (2012): Risk analysis of human exposure to electromagnetic fields (revised). Deliverable Report D2 of EFHRAN project. https://webgate.ec.europa.eu/chafea_pdb/assets/files/pdb/20081106/20081106_d1-d9_en_ps.pdf¹⁰⁶ (28.9.2020)

6. Wissenschaftlicher Ausschuss für neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken (SCENIHR) [»Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks«]

Dieser Ausschuss innerhalb der Europäischen Kommission gibt Stellungnahmen zu neu auftretenden oder neu identifizierten Gesundheits- und Umweltrisiken, darunter auch Fragen zur gesundheitlichen Wirkung von EMF Exposition sowie zu allgemeinen, komplexen oder multidisziplinären Fragen ab, die eine umfassende Bewertung der Risiken für die Verbrauchersicherheit oder die öffentliche Gesundheit und damit zusammenhängende Fragen erfordern. Ziel der 2015 erschienen Stellungnahme (SCENIHR 2015) war es, vorangehende Stellungnahmen (SCENIHR 2009b, 2009a) im Lichte seither neu verfügbarer Informationen zu aktualisieren und insbesondere Bereiche zu berücksichtigen, in denen in der vorherigen Stellungnahme erhebliche Wissenslücken festgestellt wurden.¹⁰⁷ Dabei handelt es sich um folgende Publikation: SCENIHR (2015): Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). Brussels, European Commission, DG Health and Food Safety, Unit C2.¹⁰⁸

¹⁰⁵ Weiterführende Informationen finden sich unter https://webgate.ec.europa.eu/chafea_pdb/assets/files/pdb/20081106/20081106_d1-d9_en_ps.pdf (28.9.2020)

¹⁰⁶ Die Quelle wird unter (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012) von der FSM erfasst und unter dieser Abkürzung in der Zitatliste eingetragen.

¹⁰⁷ Für weiterführende Informationen siehe Europäischen Kommission: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging_de (28.9.2020)

¹⁰⁸ https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf (28.9.2020)

Tab. 8.5 Resultate der EU-Projekte

1: Geronimo, 2: Mobi-Kids, 3: Seawind, 5: EFHRAN, 6: SCENIHR

	Zell- studien	Tier- studien	Humanstudien		
			Biologie	Gesundheit akut	Gesundheit chronisch
Krebs	[6a], 3b	[6b], 3b			
<i>Tumore im Kopfbereich</i>					[5a], [6c]
<i>Tumore bei Kindern</i>					[5b], [6d], 2a
<i>andere Tumore</i>					[6e]
Neurodegeneration/ neuronale Erkrankun- gen	[6f]	[6g], [6h]			[5e], [6i]
Fertilität		[6j]	[5m], [6k]	[5m]	[5m]
Entwicklung		[6j]			
kardiovaskulär/Blutsys- tem			[5n]	[5n]	[5n]
EEG			[5h], [5i], [5k], [6l]	[6m]	
Kognition		[6n]	[6o]	[5f], [5g]	
<i>Kinder</i>					
Schlaf			[5j], [6p]	[5j], [6r]	[5j]
<i>Kinder</i>			[6q]		
unspezifische Symp- tome			[6s]	[5d], [6t]	[5d], [6u]
<i>Nozeboeffekt</i>					
<i>Kinder</i>				[6w]	
Hormone/Drüsen					
<i>Melatonin</i>					
<i>Stressproteine/ Genexpression</i>		[6x]			
Blut-Hirn-Schranke		[6y]			
Verhalten allg.		[6n]			
<i>Kinder und Jugendliche</i>					[6z], 1a, 1b, 1c



Wirkmechanismen					
<i>Genschädigung</i>	[6a], 3b	[6b], 3b			
<i>Sauerstoffradikale</i>		[6w]			
<i>Genexpression</i>					
<i>Zellfunktionen/Membran</i>					
anderes					
<i>Kinder und Jugendliche allg.</i>					
<i>ältere Menschen</i>					
<i>Immunsystem</i>					
<i>Metabolismus</i>					
<i>Sinne (Gehör, Netzhaut)</i>				[5f], [5g]	
<i>Zellen allg.</i>					

Effekt ausreichend
nachgewiesenEffekt limitiert
nachgewiesenEffekt inadäquat
nachgewiesen*kein Effekt nachge-
wiesen

Quelle: FSM 2017, S. 30

Zitatliste**(I) Die Einträge in Abbildung 8.5 sind auf folgende Zitate aus den jeweiligen EU-Projekten zurückzuführen***1 – GERONIMO*

- (1a) (Birks, Guxens et al. 2017), S. 122: Die Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mutter während der Schwangerschaft kann mit einem erhöhten Risiko für Verhaltensauffälligkeiten, insbesondere Probleme bezüglich Hyperaktivität und Aufmerksamkeitsdefizite, bei den Nachkommen in Zusammenhang gebracht werden. Die Interpretation dieser Ergebnisse ist unklar, da unkontrollierte Störfaktoren (»uncontrolled confounding«) sowohl die mütterliche Mobiltelefonnutzung als auch Verhaltensauffälligkeiten bei Kindern beeinflussen kann.
- (1b) (Foerster, Roser et al. 2015), S. 277: Eine aus 27 Punkten bestehende deutsche Version der ursprünglichen Skala für die problematische Nutzung von Mobiltelefon (Mobile Phone Problematic Use Scale – MPPUS) wurde durch eine Hauptkomponentenanalyse gekürzt [...] Die MPPUS-10 ist ein geeignetes Instrument für die Forschung bei Jugendlichen.

- (1c) (Roser, Schoeni et al. 2015), S. 307: MPPUS-10 war bei Mädchen um 4,7 [...] Einheiten höher als bei Jungen, stieg mit zunehmendem Alter signifikant an und ging mit steigendem Bildungsniveau der Eltern signifikant zurück. Darüber hinaus wurde die problematische Nutzung von Mobiltelefonen mit einer Beeinträchtigung des psychologischen Wohlbefindens, beeinträchtigten Beziehungen zu Eltern und Schule sowie mehr Verhaltensproblemen in Zusammenhang gebracht, nicht aber mit der Unterstützung durch Gleichaltrige und der sozialen Akzeptanz.

2 – MOBI-KIDS

- (2a) (Europäische Kommission; http://cordis.europa.eu/result/rcn/86082_en.html) Nahezu 900 infrage kommende Fälle im Alter von 10 bis 24 Jahren wurden zusammen mit 1.912 gleichaltrigen Kontrollprobanden rekrutiert, die Informationen über die Benutzung von Mobiltelefonen, die Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und Chemikalien sowie die medizinische Strahlenexposition lieferten. Die Teilnehmer führten mündliche Interviews durch, um die Unsicherheiten zu überwinden, die bei den in früheren Studien verwendeten fragebogenbasierten Antworten auftraten. Die Fälle umfassten sowohl gutartige als auch bösartige Hirntumore mit Ursprung in Hirnregionen mit hoher HF- und ELF-Exposition. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fällen und den Kontrollprobanden bezüglich der Zeit seit Beginn der Mobiltelefonnutzung, der Anzahl der pro Tag getätigten Anrufe oder der Anrufdauer pro Monat.
- (2b) (Sadetzki, Langer et al. 2014), S. 1: Unsere bisherigen Erfahrungen bei der Entwicklung und Implementierung des Studienprotokolls zeigen, dass MOBI-Kids durchführbar ist und Ergebnisse hervorbringen wird, die zum Verständnis möglicher Hirntumorrisiken im Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen und anderen drahtlosen Kommunikationstechnologien bei jungen Menschen beitragen werden.

3 – SEAWIND

- (3a) (Seawind 2013), S. 2: Die höchsten Expositionen, die festgestellt wurden, waren auf die Nutzung eines Mobiltelefons als drahtloser Zugangspunkt (»Wireless Access Point«) zurückzuführen, wobei das Telefon Kontakt mit dem Körper hatte (z. B. in der Hosen- oder Hemdtasche), d. h. über Tethering. Bei dieser Konfiguration kann die maximale Exposition die Sicherheitsgrenzwerte sogar um den Faktor zwei oder mehr überschreiten.
- (3b) (Seawind 2013), S. 4: Unter Verwendung sorgfältig kontrollierter In-vivo- und In-vitro-Versuchssysteme und -Ansätze konnten wir die zuvor berichtete Induktion von DNA-Schädigungen durch mobiltelefonspezifische Signale nicht reproduzieren. Darüber hinaus fanden wir keinen Hinweis auf ein



direktes DNA-Schädigungspotenzial durch die neu untersuchte Signalmodulation, die in modernen Datenübertragungstechnologien verwendet wird. Auf der Grundlage unserer Untersuchungen können wir jedoch modulationsspezifische Störungen [...] [sowie] die Rolle von EMF als mutmaßliches Co-Karzinogen oder Co-Stressfaktor, die unter bestimmten Umständen gesundheitsschädigende Wirkungen potenzieren könnten, nicht ausschließen.

(II) Die globalen wissenschaftlichen Einschätzungen zu den Endpunkten sind auf folgende Zitate zurückzuführen

5 – EFHRAN

- (5a) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.42: Insgesamt wird die Stichhaltigkeit der Beweise zu adulten Hirntumoren bestenfalls als begrenzt beschrieben. Diese Klassifikation ist jedoch mit Unsicherheiten behaftet, da der Nachweis eines erhöhten Hirntumorrisikos auf zwei groß angelegte Fallkontrollstudien beschränkt ist und es noch ungelöste Fragen zu möglichen Verzerrungen und Fehlern bei retrospektiven epidemiologischen Studien gibt. Darüber hinaus sind die Zeit-Trend-Analysen auch nicht mit einem starken Anstieg der Hirntumorinzidenz im Zusammenhang mit der Mobiltelefonnutzung vereinbar (S.42).
- (5b) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.43: Die Evidenz bezüglich der Auswirkungen geringer Ganzkörperexpositionen im Zusammenhang mit Basisstationen und Rundfunksendern ist schwach, was basierend auf wenigen, aber umfangreichen Studien eher darauf hindeutet, dass es keinerlei Auswirkungen gibt.
- (5c) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.43: Ob die höheren, aber stärker lokalisierten Expositionen durch Mobiltelefone selbst zu einem erhöhten Leukämierisiko bei Kindern und Jugendlichen beitragen könnten, ist noch zu klären. Daher wird die Evidenz insgesamt als unzureichend betrachtet.
- (5d) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.43: [...] Evidenz, die auf fehlende Auswirkungen hinsichtlich Hypersensitivität hindeutet, aber die Klassifizierung bezüglich der Symptome sollte als unzureichend betrachtet werden.
- (5e) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.43: unzureichende Evidenz bezüglich der Möglichkeit eines Zusammenhangs zwischen langfristiger HF-Feldexposition und einem erhöhten Risiko für Demenz und die Parkinson-Krankheit.
- (5f) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.43: Eine wachsende Zahl von Laborstudien deutet darauf hin, dass die mit Mobiltelefon in Verbindung gebrachten Felder keine nachweisbaren Auswirkungen auf die sensorische Funktion und die frühe Verarbeitung von Informationen bzw. keinen signifikanten Einfluss auf beliebige getestete kognitive Funktionen haben.

- (5g) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.43: Dies deutet darauf hin, dass akute Expositionen bis zu den Richtwerten ohne signifikantes Risiko sind.
- (5h) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.43f: [...] Hinweise darauf, dass die Exposition gegenüber spezifischen modulierten Feldern, einschließlich derer von Mobiltelefonen, subtile Auswirkungen auf das Spontan-EEG haben und die Leistung des Alpha-Frequenzbandes erhöhen kann, jedoch nur bei einigen Einzelpersonen.
- (5i) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.44: Es ist möglich, dass lokale Erhöhungen des Hirnstoffwechsels auch nach Exposition durch Mobiltelefone auftreten können
- (5j) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.44: [...] konnte keinen Nachweis erbringen, dass HF-Felder einen negativen Einfluss auf die Schlafqualität haben
- (5k) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.44: Die Auswirkungen auf das EEG während des Schlafs sind weniger eindeutig, doch einer großen und gut durchgeführten Studie zufolge könnte eine Exposition vor dem Schlaf die Alphaband-Leistung während des anschließenden Schlafs erhöhen.
- (5l) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.46: Der Demodulationsvorgang scheint also in diesem Frequenzbereich nicht aufzutreten und wird wahrscheinlich auf unter etwa 10 MHz begrenzt bleiben. Die übereinstimmende Meinung, dass die Erwärmung nach wie vor der einzige etablierte Mechanismus ist, der im GHz-Bereich auftritt, ist nach wie vor gültig.
- (5m) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.44: Ergebnisse bezüglich der Fortpflanzung, alle Ergebnisse: unzureichende Beweiskraft.
- (5n) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.44: Herz-Kreislauf-Erkrankungen, alle Ergebnisse: unzureichende Beweiskraft.
- (5o) (Sienkiewicz, Schüz et al. 2012), S.44: Wohlbefinden, Symptome: unzureichende Beweiskraft.

6 – SCENIHR

- (6a) (SCENIHR 2015), S.101: In den meisten Studien wurden keine Auswirkungen einer Exposition bei zulässigen Werten festgestellt, obwohl in einigen Fällen DNA-Strangbrüche und Spindelstörungen beobachtet wurden.
- (6b) (SCENIHR 2015), S.86: Da eine beträchtliche Anzahl gut durchgeführter Studien unter Verwendung einer Vielzahl von Tiermodellen überwiegend negative Ergebnisse hervorbrachte, wird insgesamt davon ausgegangen, dass die Tierstudien starke Belege für das Ausbleiben eines Effekts liefern.
- (6c) (SCENIHR 2015), S.81f: Insgesamt gibt es wenig Belege dafür, dass eine mäßige Mobiltelefonnutzung mit einem Risiko für Krebs im Kopf- und Halsbereich verbunden ist [...] Bei Personen mit starker Mobiltelefonnutzung ist die Beweislage umstrittener [...] Einschränkungen der Fallkontrollstudien, einschließlich Selektions- und Recall-Bias, geben Anlass zur Sorge, dass der

beobachtete Zusammenhang in kleinen Untergruppen auf methodische Mängel zurückzuführen sein könnte [...] Für Meningeome ist die Evidenz für ein erhöhtes Risiko bei Personen mit starker Langzeitnutzung schwächer als für Gliome, aber einige Fallkontrollstudien zeigen jedoch auch erhöhte Risiken [...] Zu wenige der veröffentlichten Krebsstudien weisen eine ausreichende statistische Aussagekraft und Beobachtungszeit auf, um ein potenziell geringes Risiko nach Nutzungszeiträumen von 15 Jahren oder mehr zu identifizieren. Die meisten gemeldeten erhöhten Risiken haben der Plausibilitätsprüfung durch Zeit-Trend-Analysen nicht standgehalten.

- (6d) (SCENIHR 2015), S. 84–1: Insgesamt deuten die epidemiologischen Studien zur HF-EMF-Exposition nicht auf ein erhöhtes Risiko für Hirntumore und auch nicht auf ein erhöhtes Risiko für andere Krebsarten des Kopf- und Halsbereiches oder andere bösartige Erkrankungen hin [...].
- (6e) (SCENIHR 2015), S. 84–2: Die einzige Studie zur Nutzung von Mobiltelefonen und Hirntumoren bei Kindern zeigte kein erhöhtes Risiko. Es sind jedoch mehr Studien erforderlich, insbesondere in Bezug auf Personen, die als Kinder anfangen, Mobiltelefone zu benutzen, und deren Krebsrisiko im späteren Leben.
- (6f) (SCENIHR 2015), S. 134: Die wenigen verfügbaren In-vitro-Studien liefern keine Daten, die für eine Bewertung möglicher Auswirkungen auf die Funktion des Nervensystems oder auf Krankheitsprozesse im Nervensystem hilfreich sind.
- (6g) (SCENIHR 2015), S. 130: Diese Studien weisen auf einige neurotoxische Wirkungen (verminderte Anzahl neuronaler Zellen, Aktivierung von Gliazellen) nach mehrtägiger Exposition gegenüber HF-Feldern mit SAR-Werten unter 2 W/kg hin. Es sind zusätzliche Studien mit besserer Dosimetrie erforderlich, bevor haltbare Schlussfolgerungen gezogen werden können. Zusätzliche Studien zur frühen Entwicklung sowie zu den Auswirkungen auf das pathologische Gehirn sind ebenfalls gerechtfertigt.
- (6h) (SCENIHR 2015), S. 131: Die erwähnten Studien zeigen Ergebnisse, die hinsichtlich der Auswirkungen von HF auf die Neurodegeneration widersprüchlich sind. Eine verstärkte GFAP-Markierung würde auf aktivierte Gliazellen und damit auf ein erhöhtes Risiko für neurodegenerative Prozesse hinweisen, während die anderen Studien darauf hindeuten, dass ein Krankheitsprozess rückgängig gemacht werden kann.
- (6i) (SCENIHR 2015), S. 104-1: Neuere epidemiologische Studien haben kein erhöhtes Risiko neurologischer Erkrankungen im Zusammenhang mit der HF-Exposition gezeigt.
- (6j) (SCENIHR 2015), S. 152: [...] wird die Schlussfolgerung gezogen, dass es eine starke Gesamtgewichtung der Beweise gegen eine Auswirkung schwacher HF-Felder auf die Fortpflanzung oder Entwicklung gibt.

- (6k) (SCENIHR 2015), S. 147: Zwei Meta-Analysen der verfügbaren Daten ergaben keine eindeutigen Anhaltspunkte für konsistente unerwünschte Auswirkungen auf die Spermienqualität. Ob die Nutzung von Mobiltelefonen durch werdende Mütter während der Schwangerschaft mit nachteiligen Folgen verbunden ist, bleibt weitgehend unerforscht.
- (6l) (SCENIHR 2015), S. 127-1: Die meisten der neueren Studien haben über eine Wirkung der HF-Exposition auf die Spektralleistung des Schlafes und das Wach-EEG im Ruhezustand berichtet. Die Auswirkungen auf das Schlaf-EEG sind jedoch nicht auf den Spindelfrequenzbereich beschränkt.
- (6m) (SCENIHR 2015), S. 127-2: [...] die Relevanz der kleinen physiologischen Veränderungen bleibt unklar und eine mechanistische Erklärung gibt es noch nicht.
- (6n) (SCENIHR 2015), S. 129: Zusammenfassend lässt sich sagen, dass derzeit keine schlüssigen Beweise erbracht werden können, obwohl einige der hier erwähnten Studien nicht thermische Auswirkungen auf Lernen, Gedächtnis oder Verhalten vermuten lassen.
- (6o) (SCENIHR 2015), S. 127-5: Insgesamt gibt es keine Belege dafür, dass HF die kognitiven Funktionen beim Menschen beeinflusst. In Studien, die sich mit möglichen Auswirkungen von HF-Feldern auf kognitive Funktionen befassten, wurden oft mehrere Endpunkte einbezogen. Wurden in einzelnen Studien Auswirkungen gefunden, so wurden diese typischerweise nur bei einer kleinen Anzahl dieser Endpunkte beobachtet, wobei zwischen den Studien wenig Übereinstimmung darüber besteht, welche Endpunkte genau betroffen sind.
- (6p) (SCENIHR 2015), S. 127-3: Auch in der Hälfte der experimentellen Studien, die sich mit der Makrostruktur des Schlafes beschäftigten (insbesondere solche mit längerer Expositionsdauer), wurden Effekte festgestellt, die jedoch in Bezug auf die betroffenen Schlafparameter nicht konsistent sind.
- (6q) (SCENIHR 2015), S. 127-4: Es mangelt an Daten für bestimmte Altersgruppen. Eine Studie weist darauf hin, dass Kinder und Jugendliche offenbar weniger betroffen sind.
- (6r) (SCENIHR 2015), S. 142: Die Hochfrequenzexposition wurde nicht mit Erhöhungen des Tagesschläfrigkeits-Scores oder Schlafproblemen in Verbindung gebracht. Schlafdauer und Schlafeffizienz zeigten keinen Zusammenhang mit beliebigen Messgrößen der EMF-Exposition in der Teilstudie.
- (6s) (SCENIHR 2015), S. 143: Die Symptome, die Menschen auf eine HF-EMF-Exposition zurückführen, können manchmal ernsthafte Beeinträchtigungen des Wohlbefindens einer Person verursachen. Die seit dem letzten Gutachten durchgeführte Forschung untermauert jedoch die Schlussfolgerung, dass die HF-EMF-Exposition nicht die Ursache für diese Symptome ist.
- (6t) (SCENIHR 2015), S. 144-1: Bei Symptomen, die durch kurzzeitige Exposition gegenüber HF-Feldern (gemessen in Minuten bis Stunden) ausgelöst



werden, führen die konsistenten Ergebnisse aus mehreren Doppelblindversuchen insgesamt zu einer starken Beweislast dafür, dass HF-EMF keine derartigen Wirkungen verursachen.

- (6u) (SCENIHR 2015), S. 144-2: Bei Symptomen, die mit längerfristigen Expositionen (Tage bis Monate) verbunden sind, ist die Evidenz aus Beobachtungsstudien weitgehend konsistent, weist jedoch Lücken vor allem hinsichtlich der objektiven Überwachung der Exposition auf. Die aktuelle Evidenz spricht dafür, dass keine Effekte durch HF-EMF-Exposition auftreten.
- (6v) (SCENIHR 2015), S. 143f: Die seit dem letzten Gutachten durchgeführte Forschung untermauert die Schlussfolgerung, dass die HF-EMF-Exposition nicht die Ursache für diese Symptome ist. Dies gilt für die breite Öffentlichkeit, Kinder und Jugendliche sowie für Menschen mit IEI-EMF. Jüngste Meta-Analysen von Daten aus Beobachtungs- und Provokationsstudien stützen diese Schlussfolgerung.
- (6w) (SCENIHR 2015), S. 132: Zusammengenommen deuten mehrere Studien darauf hin, dass HF-Exposition bei Nagetieren Auswirkungen von oxidativem Stress verursachen kann. Den Studien mangelt es jedoch häufig an einer ordnungsgemäßen Dosimetrie und sie enthalten keine ordnungsgemäßen Positivkontrollen. Das Ausmaß der Veränderungen ist gering und ihre biologische Bedeutung unklar.
- (6y) (SCENIHR 2015), S. 128: Zusammengenommen unterstützen die jüngsten Studien zur Integrität der BHS nicht, dass die Exposition gegenüber mobiltelefonähnlicher HF bei SAR-Werten unter oder gleich 2 W/kg eine Beeinträchtigung der BHS verursacht.
- (6z) (SCENIHR 2015), S. 104-2: Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es aufgrund widersprüchlicher Ergebnisse und methodischer Einschränkungen nur schwache Belege für einen Zusammenhang zwischen Verhaltensstörungen und HF-Exposition des Fötus gibt.

(III) Die Befundlage ergänzend, aber nicht in der Tabelle aufgeführt sind Ergebnisse aus exposimetrischen und dosimetrischen Studien

1 – GERONIMO

- (Aerts, Vermeeren et al. 2017), S. 1: Haushaltsgeräte. Die Emissionen enthielten entweder harmonische Signale mit Grundfrequenzen zwischen 6 kHz und 100 kHz oder viel unberechenbarere Spektren, die von 50 Hz-Oberschwingungen dominiert wurden, die weit in den Zwischenfrequenz-Bereich ausstrahlten. Die Verwendung von Geräten in geringem Abstand (20 cm) von bestimmten Geräten kann zu einer relativ hohen Exposition führen, doch kein Gerät wies ZF-Emissionen [Zwischenfrequenz-Emissionen] auf, die die Expositionssummenregel der ICNIRP2010 überschritten.
- (Aerts, Calderon et al. 2017), S. 160: Es wurde festgestellt, dass die ZF-Feldwerte in Wohngebieten im Allgemeinen niedrig sind, während die Verwendung

- bestimmter Geräte in geringem Abstand (20 cm) zu einer relativ hohen Exposition führen kann. Insgesamt gesehen enthielten die Geräteemissionen entweder harmonische Signale mit Grundfrequenzen zwischen 6 kHz und 300 kHz, [...], oder [...] 50 Hz-Oberschwingungen, die weit in den ZF-Bereich ausstrahlten. Die bei 20 cm gemessenen maximalen Spitzenfeldstärken betrugen 41,5 V/m und 2,7 A/m (beide von Induktionsherden).
- (Arnaud-Cormos, Soueid et al. 2015), S. 1: Zu den Anwendungen biologischer Zellen, die mit dem Abgabesystem gepulsten elektrischen Feldern im Nanosekundenbereich (nsPEF) ausgesetzt werden, gehören Echtzeit-Impedanzmessungen und Bioexperimente im Zusammenhang mit Nanoporation.
- (Chiaromello, Parazzini et al. 2017), S. 1: In dieser Studie werden wir stochastische Dosimetrie verwenden, um die Exposition eines Fötus im Gestationsalter von 9 Monaten gegenüber einem 4G-LTE-Tablet zu bewerten und dabei analysieren, wie sich die Exposition verändert, wenn das Tablet in einem Bereich verschiedener Positionen bewegt wird, die für realistische Expositionsszenarien repräsentativ sind.
- (Gajsek, Ravazzani et al. 2015), S. 1: Personenbezogene HF-Expositionsmessungen werden in fünf europäischen Ländern nach einem gemeinsamen Messprotokoll durchgeführt. [...] In Slowenien [...] betrug die durchschnittliche personenbezogene HF-EMF-Exposition je nach Technologie 0,1 V/m vom Uplink, 0,18 V/m vom Downlink, 0,15 V/m vom Rundfunk, 0,07 V/m von DECT und 0,08 V/m von WLAN.
- (Gallastegi, Guxens et al. 2016), S. 1: Indirekte (Nähe zu Emissionsquellen, Fragebögen zur Nutzung der Quellen und raumbezogene Ausbreitungsmodelle) und direkte Methoden (punktuelle und feststehende längerfristige Messungen und personenbezogene Messungen) wurden durchgeführt, um die Expositionswerte von Studienteilnehmern im Alter zwischen 7 und 18 Jahren zu bewerten.
- (Garcia-Fernandez, Percherancier et al. 2016), S. 2317: Es wird eine dosimetrische Charakterisierung einer EMF-Expositionseinrichtung vorgeschlagen, die mit Echtzeit-Impedanzmessungen an adhärennten biologischen Zellen kompatibel ist.
- (Roser, Schoeni et al. 2015), S. 5634: Wir entwickelten ein integratives Expositionssurrogat, das die Nahfeld- und Fernfeld-EMF-Exposition in einer einzigen Hirn- und Ganzkörperexpositionsmessung kombiniert. [...] Die Exposition durch Mobilfunkbasisstationen trug 1,8% zur Ganzkörperdosis bei, während die Uplinkexposition durch die Mobiltelefone anderer Personen 3,6% beitrug.

2 – MOBI-KIDS

- (Calderon, Addison et al. 2014), S. 210: Zweidimensionale Messungen der magnetischen Flussdichte wurden an 47 GSM-Mobiltelefonen in einem Abstand



- von 25 mm durchgeführt. Die daraus resultierenden maximalen Werte der magnetischen Flussdichte bei 217 Hz wiesen ein geometrisches Mittel von 221 (+198/-104) nT auf. Unter Berücksichtigung der Oberschwingungsdaten deuten die Messungen darauf hin, dass Mobiltelefone einen wesentlichen Beitrag zur ELF-Exposition der Allgemeinbevölkerung leisten könnten.
- (Calderon, Ichikawa et al. 2017), S. 59: Die Anzahl der Phantome war nicht groß genug, um einen definitiven Beweis für einen Anstieg der induzierten Stromdichte mit dem Alter zu liefern, doch die verfügbaren Daten deuten darauf hin, dass der Effekt – falls vorhanden – wahrscheinlich sehr gering ist.
- (Ghanmi, Varsier et al. 2013), S. 418: Die induzierte SAR im Kopf eines Kindes und in Teilregionen des Gehirns ist im Vergleich zum Kopf eines Erwachsenen signifikant höher (bis zu 30 %).
- (Ghanmi, Varsier et al. 2014), S. 568: Die Ergebnisse zeigen auch, dass für 5–10 % der untersuchten Positionen die SAR_{10g} im Kopf und die SAR_{1g} im Gehirn 20 % höher sein können als der für die Standardposition an der Wange geschätzte SAR-Wert.
- (Goedhart, Vrijheid et al. 2015), S. 538: Die Ergebnisse zeigten, dass die Teilnehmer die Anzahl der von ihnen getätigten Anrufe im Durchschnitt unterschätzten, während sie die gesamte Gesprächsdauer eher überschätzten. Die Teilnehmer hielten das Telefon für etwa 90 % der gesamten Gesprächszeit nah an ihrem Kopf, hauptsächlich auf der Seite des Kopfes, die sie als dominant bezeichneten.
- (Kiyohara, Wake et al. 2016a), S. 566: Das Erinnerungsvermögen war anfällig für kleine systematische und große Zufallsfehler sowohl hinsichtlich der Anzahl als auch hinsichtlich der Dauer der Anrufe. Ein solch großer zufälliger Erinnerungsfehler in Bezug auf die Anzahl der Anrufe und eine falsche Klassifizierung der Lateralität legen nahe, dass die Ergebnisse epidemiologischer Studien zur Mobiltelefonnutzung auf der Grundlage einer Selbsteinschätzung mit Vorsicht interpretiert werden sollten.
- (Kiyohara, Wake et al. 2016b), S. 1: Daher wäre die Erinnerungsgenauigkeit bei Mobiltelefongesprächen über einen langen Zeitraum durchweg mangelhaft, und die Ergebnisse ähnlicher epidemiologischer Studien sollten mit Vorsicht interpretiert werden.
- (Langer, de Llobet et al. 2017), S. 73: Diese zwölf Länder übergreifende Studie zeigt, dass ein großer Teil der Varianz bei den Telefonnutzungsmerkmalen wie Anzahl und Dauer der Anrufe sowie Daten und WLAN-Nutzung durch das Alter und das Land eines Mobilfunknutzers erklärt werden kann. Unterschiede wurden auch abhängig von Geschlecht, Bildung und Studienzeitraum beobachtet, doch diese erklären einen viel kleineren Teil der Varianz. Die Lateralität und die freihändige Nutzung werden durch diese Nutzermerkmale kaum beeinflusst.

- (Lee, Yoon et al. 2016), S.87: Numerische Modelle von Mobiltelefonen, repräsentativ für reale Telefonmodelle, die seit 2002 auf dem koreanischen Markt erschienen sind
- (Lee, Hong et al. 2017), S.2741: Für alle elf Telefonmodelle wurden die maximale SAR (über 1g gemittelt) sowie die über die ipsilaterale bzw. kontralaterale Gehirnhälfte gemittelte SAR angegeben.

3 – SEAWIND

- (Andersen, Chee et al. 2012), S.2472: Die Gesamtaborption durch die sitzenden Passagiere wird von den wenigen dominiert, die sich in der Nähe des Senders befinden. Im Allgemeinen ist diese absorbierte Leistung relativ gering, so dass der Einfluss der Passagiere bei dieser Konfiguration eines Kabinenkommunikationssystems marginal ist.
- (Bamba, Joseph et al. 2012), S.755: Als Anwendung untersuchen wir nun die SARwb [...] für WLAN [...] Die SARwb bei einer Person nimmt natürlich mit zunehmendem Abstand ab, mit Werten von 0,17 mW/kg bei 0,6 m und 0,0012 mW/kg bei 10 m. Diese Werte sind viel niedriger als 0,08 W/kg, was die Begrenzung für die Exposition der Öffentlichkeit darstellt.
- (Bamba, Joseph et al. 2013), S.122: Es wird festgestellt, dass die DMC [Diffuse Multipath Components] einen wichtigen Teil der GesamtabSORptionsrate darstellen kann. Ihr Beitrag kann bei bestimmten Szenarien in Innenräumen bis zu 90 % erreichen. [...] Die durchschnittliche SAR nimmt mit zunehmendem Abstand vom Sender ab – je größer der Abstand, desto größer der Beitrag der DMC zur induzierten Ganzkörper-SAR (S. 131)
- (Gong, Capstick et al. 2016), S.49: Das System wurde so konzipiert, dass es Expositionen mit einer gemittelten Ganzkörper-SAR von bis zu 15 W/kg für sechs Mäuse mit einem Durchschnittsgewicht von 25 g oder mit zeitlich gemittelten Feldern von bis zu 320 V/m unter belasteten Bedingungen ohne Verzerrung des Signals ermöglicht.
- (Markakis and Samaras 2013), S.293: Diese Messergebnisse deuten darauf hin, dass Signale von Mobilfunk-Basisstationen an Arbeitsplätzen und in Schulen dominieren, während schnurlose Telefone und Computernetzwerke in häuslicher Umgebung die Hauptrolle spielen. Während erstere tagsüber ihre Höchstwerte erreichen, ist bei Letzteren ein Anstieg am Abend nach der Arbeit zu beobachten.
- (Nielsen, Andersen et al. 2011), S. 1: In der aktuellen Arbeit wird untersucht, wie die RE-Parameter von der Polarisierung und Ausrichtung der Empfängerantenne (Rx) abhängen.
- (Schmid and Kuster 2015), S.133: Die Analyse zeigte, dass die Exposition von Haut, Blut und Muskelgewebe auf Zellebene durchaus 40 W/kg überschreiten kann. Infolgedessen sind In-vitro-Studien, die über minimale oder keinerlei Auswirkungen als Reaktion auf eine maximale Exposition von 2 W/kg



oder weniger (gemittelt über das die Zellen einschließende Zellmedium) berichten, möglicherweise nur von begrenztem Wert für die Analyse des Risikos einer realistischen Mobiltelefonexposition.

(Vermeeren, Markakis et al. 2013), S.254: Die mobile Telekommunikation war in allen Mikroumgebungen in Innenräumen zusammen mit dem Rundfunk (FM) am stärksten vertreten. In beiden Ländern wurden die höchsten durchschnittlichen Expositionen in Büroumgebungen (1,1 V/m in Belgien und 0,7 V/m in Griechenland) und die niedrigsten in Wohnungen (0,3 V/m in Belgien und 0,4 V/m in Griechenland) und in Schulen (0,4 V/m in Griechenland) festgestellt. Die Exposition in Büros war hauptsächlich auf die mobile Telekommunikation zurückzuführen, während in häuslicher Umgebung DECT und Wi-Fi 2G die vorherrschenden Quellen darstellten.

4 – LEXNET

(Aerts, Plets et al. 2015), S.2639: Für die GSM-Technologie bei 1.800 MHz haben wir festgestellt, dass durch die Verbindung mit einer kleinen Zelle die Hirnexposition des Nutzers realistischerweise um einen Faktor 35 und die Ganzkörperexposition um einen Faktor 11 reduziert werden könnte.

(Diez, Anwar et al. 2014), S.1: [...], um eine Reihe von Dosimetern niedriger Komplexität zur Charakterisierung der EMF in vier verschiedenen Bändern einzusetzen. Die Geräte nutzen die Möglichkeiten, die eine Testumgebung für ein drahtloses Sensornetzwerk bietet, und sind daher als ein weiterer IoT-Knotenpunkt (Internet der Dinge) integriert.

(Héliot, Imran et al. 2013a), S.1: Insgesamt ist die Auswahl von Basisstationen, d. h. jeweils nur einen Sektor gleichzeitig übertragen zu lassen, ein sehr energieeffizienter Ansatz, wenn im Leistungsmodell der Basisstation die Schlafleistung berücksichtigt wird.

(Héliot, Imran et al. 2013b), S.943: Als Anwendung verwenden wir unseren Ansatz, um die EE von Multihop-MIMO-AF- mit MIMO-Systemen zu vergleichen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass Ersteres das Letztere vor allem dann übertrifft, wenn die Qualität der direkten Verbindung schlecht ist.

(Huang, Varsier et al. 2016), S.382: Die Exposition gegenüber 3G-EMF wird durch Uplink-Funkemissionen dominiert, die aus dem Sprach- und Datenverkehr resultieren, und die durchschnittliche EMF-Exposition der Bevölkerung unterscheidet sich in Abhängigkeit von der geografischen Lage und dem Land, was auf die unterschiedlichen Architekturen der Mobilfunknetze und die Variabilität der Mobilfunknutzung zurückzuführen ist. [...] Abschließend ist anzumerken, dass alle EI-Werte (Exposure Index) weit unter den internationalen Standardgrenzwerten liegen. [...] 0,08 W/kg ist 105-mal höher als die in dieser Studie ermittelten EI-Werte. Man sollte jedoch bedenken, dass die EI-Werte nicht unter der Annahme einer maximalen individuellen Exposition im schlimmsten Fall bewertet werden, sondern der tatsächlichen

- durchschnittlichen Exposition gegenüber EMF von einem 3G-Mobilfunknetz als Ganzes entsprechen (S.389).
- (Koprivica, Neskovic et al. 2015), S.407: Zur Bewertung der gesamten elektrischen Feldstärke unter Verwendung einer monoaxialen Sonde (anstelle einer isotropen, triaxialen Sonde). Wenn eine monoaxiale Sonde verwendet wird, sollte ein zusätzlicher Umrechnungsfaktor angewendet werden.
- (Koprivica, Slavkovic et al. 2016), S.489: Die Messergebnisse zeigten, dass der aufgezeichnete Maximalwert der gesamten elektrischen Feldstärke die Referenzwerte der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) hinsichtlich der Exposition der Allgemeinheit bei 2,5% der Standorte und die nationalen serbischen Referenzwerte bei 15,6% der Standorte überschritten hat. Hervorzuheben ist, dass die Referenzwerte überschreitenden Werte nur im Freien beobachtet wurden, während in Innenräumen die gesamte elektrische Feldstärke in keinem Fall die definierten Referenzwerte überschritt.
- (Koprivica, Petric et al. 2016), S.69: Die Messergebnisse zeigten, dass der aufgezeichnete Maximalwert der elektrischen Feldstärke die Referenzwerte der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) bei 7% der Standorte von Basisstationen in Innenräumen überschritten hat. Zugleich war dieser Prozentsatz bei Masten und Anlagen an Gebäuden viel geringer (0% bzw. 2,5%).
- (Krayni, Hadjem et al. 2016), S.896: [...] es hat sich herausgestellt, dass die Exposition stark von der lokalen Ausbreitungsumgebung abhängig ist, was auf die von den meisten Standards für drahtlose Kommunikation durchgesetzte Leistungsregelung zurückzuführen ist. Dies wurde durch die Kombination des SAR_{wb}-Wertes (berechnet für eine konstante Leistung) mit einer statistischen Verteilung der gelieferten Eingangsleistung für verschiedene Nutzerpositionen angegangen. [...] Die Ergebnisse zeigten, dass der Einfluss des Körpers auf die Variabilität der gelieferten Eingangsleistung relativ gering ist, insbesondere im LOS-Szenario, wo der Einfluss der Ausbreitung auf die Variabilität dominiert.
- (Plets, Joseph et al. 2014a), S.328: SAR-Werte und absorbierte Dosen können verringert werden, wenn mehr Basisstationen mit einer geringeren Sendeleistung installiert werden. Für die betrachteten Szenarien wird eine Reduzierung um den Faktor 24 für die Downlink-SAR beim Einsatz von WLAN und um den Faktor 2,4 für die Uplink-SAR beim Einsatz von UMTS beobachtet.
- (Plets, Joseph et al. 2014b), S.497: Es werden drei Telefonanruufszenarien untersucht (UMTS-Makrozelle, UMTS-Femtozelle und Voice-over-IP über WLAN) und hinsichtlich der Höhe der elektrischen Feldstärke und der lokalen SAR_{10g}-Verteilungen verglichen. Die Berechnung der Expositionsdosen für die verschiedenen Szenarien zeigt, dass es vorteilhaft ist, eine FBS zu installieren, insbesondere wenn die bestehende Makrozellenverbindung



schlecht ist (Reduzierung der Expositionsdosis um einen Faktor von bis zu 5000).

- (Plets, Joseph et al. 2015a), S. 8: Bei WLAN werden die Downlink-Dosen durch den optimierten Einsatz um mehr als 95 % reduziert. Aufgrund der fehlenden Leistungsregelung reichen Uplink-Nutzungen von nur wenigen Sekunden aus, damit die Uplink-Dosis höher als die Downlink-Dosis ist, wodurch die Reduzierungen des optimierten Einsatzes bei längeren Uplink-Nutzungen begrenzt werden. [...] Bei UMTS variieren die Gesamtdosisreduzierungen dank des Leistungsregelungsmechanismus unabhängig von der Uplink-Nutzung zwischen 73 % und 83 %. Bei der LTE-Konfiguration mit Hochleistungs-Basisstationen betragen die Dosisreduzierungen mindestens 80 % und steigen bei höheren Uplink-Nutzungen an. Bei UMTS und LTE ist eine nahezu kontinuierliche Uplink-Nutzung erforderlich, um eine signifikante Wirkung auf die Gesamtdosis zu erzielen, was wiederum dem Leistungsregelungsmechanismus zu verdanken ist.
- (Plets, Joseph et al. 2015b), S. 597: In einem [...] GSM-Makrozellen-Verbindungsszenario kann der UL von 15 anderen Nutzern bis zu 19 % der Gesamtabsorption verursachen, wenn Sie selbst anrufen und bis zu 100 %, wenn Sie nicht selbst anrufen. In einem [...] UMTS-Femtozellen-Verbindungsszenario trägt der UL von 15 anderen Nutzern nicht mehr als 1,5 % zur Gesamtabsorption eines nicht anrufenden Nutzers bei. Bei fünf weiteren Nutzern im Zug neben der betrachteten Person wird die mittlere Gesamt-Ganzkörper-SAR um einen Faktor von etwa 400.000 reduziert, wenn statt der GSM-Makrozelle eine UMTS-Femtozellen-Basisstation eingesetzt wird.
- (Popović, Tesanovic et al. 2014), S. 840: Wie einige vorläufige Ergebnisse zeigen, sind am Beispiel WLAN vs. Femto vs. Makro verschiedene Zugangsarten aus Sicht der EMF-Exposition unter verschiedenen Bedingungen »optimal«.
- (Popović, Koprivica et al. 2014), S. 16: Die in diesem Papier vorgestellten Arbeiten legen viele verschiedene Herausforderungen im Hinblick auf die Durchführung von Vergleichen bezüglich EMF-Exposition auf der Grundlage von Messungen der UE-Sendeleistung dar: zwischen Technologien und Zelltypen (Makro/Mikro), Diensten oder einfach zwischen Zuständen vor und nach einer Veränderung im Netz.
- (Sambo, Héliot et al. 2015), S. 790: Wir stellen einen umfassenden Überblick über die vorhandene Literatur bereit und bieten darüber hinaus ein Tutorial über Dosimetrie, Metriken, internationale Projekte sowie Richtlinien und Grenzwerte für die Exposition durch EM-Strahlung [Elektromagnetische Strahlung] in mobilen Kommunikationssystemen an.
- (Sarrebourse, Lope et al. 2014), S. 786: Der EI umfasst die Exposition, die sowohl durch persönliche Geräte (Uplink) als auch durch Basisstationen (Downlink)

induziert wird. Der Einsatz von Dosimetern niedriger Komplexität wird Informationen über die Fernfeldexposition (Downlink) bereitstellen. In diesem Papier beurteilen wir die Durchführbarkeit der vorgeschlagenen Methodik, indem wir die von den Dosimetern mit geringer Komplexität gelieferten Werte mit denen von leistungsfähigeren Geräten vergleichen.

(Tesanovic, Conil et al. 2014), S.27: Die Einzigartigkeit des LEXNET-Ansatzes besteht darin, dass er auf bestehenden Metriken aufbaut, indem er den neuartigen Expositionsindex zur Quantifizierung der Bevölkerungsexposition einführt. Dies ermöglicht die Entwicklung von Netzmanagement-Technologien, die die EMF-Exposition reduzieren, ohne die Dienstgüte (Quality of Service – QoS) für die Nutzer zu beeinträchtigen.

(Varsier, Plets et al. 2015), S.451: Diese Metrik berücksichtigt sowohl die durch Antennen von Basisstationen induzierte Exposition als auch die durch drahtlose Geräte induzierte Exposition, um die durchschnittliche globale Exposition der Bevölkerung in einem bestimmten geografischen Gebiet zu beurteilen. [...] Die Berechnung des EI wird durch einfache Telefonanruf-Szenarien (Büro-Innenräume, im Zug) und ein vollständiges Langzeitentwicklungsszenario von Makrodaten städtischer Gebiete veranschaulicht.

(Wiar, Conil et al. 2014), S.635: stellt das Grundprinzip und das Ziel des EU-Projekts LEXNET vor, das darin besteht, zukünftige Technologien und Architekturen zur Minimierung der EMF-Exposition zu analysieren [...] Dieses Papier erläutert das Konzept und stellt die Formulierung eines neuen Expositionsindex (EI) bereit.

6 – SCENIHR

(SCENIHR 2015), S.222: Die Mikrodosimetrie zielt auf eine quantitative Untersuchung der Wechselwirkungen elektromagnetischer Felder auf mikroskopischer Ebene, d. h. auf zellulärer oder subzellulärer Ebene. Mit dem Aufkommen der THz-Technologie und der Anwendung von Nanopulsen muss dieser Bereich der Expositionsbeurteilung gestärkt werden.

(SCENIHR 2015), S.222: Dielektrische spektroskopische Messungen an (vorzugsweise) menschlichem Gewebe von Probanden unterschiedlichen Alters, Geschlechts oder physiologischer Bedingungen sind von hoher Priorität.

(SCENIHR 2015), S.222: In [...] epidemiologischen Studien [...] ist es notwendig, allerdings mit mittlerer Priorität, die Forschung hinsichtlich der Herstellung neuer erschwinglicher Messgeräte oder der Verbesserung bestehender spezialisierter Expositionsmessgeräte fortzusetzen.

8.1.2.6 International

Charakterisierung der Studienbasis

Um die Erkenntnislage möglichst umfassend zu dokumentieren, hat die FSM (2017) Publikationen ab Erscheinungsjahr 2010 (wenige Ausnahmen mit älteren Artikeln) für den Rest der Welt (RoW) zusammengetragen (dazu und zum Folgenden FSM (2017, 31f.). Diese Literaturrecherche ergab über 250 wissenschaftliche Publikationen. Die Auswahl der Publikationen orientierte sich an den Literaturlisten der Reviewberichte des SCENIHR (2015) SCENIHR 2015, des wissenschaftlichen Beirats der schwedischen Strahlenschutzbehörde SSM im Zeitraum 2009 bis 2016 (SSM's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields 2009, 2010; SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields 2013, 2014, 2015, 2016), sowie der »Beratenden Expertengruppe NIS« (BERENIS) des schweizerischen Bundesamtes für Umwelt (BAFU)¹⁰⁹.

Vorgehen und grafische Darstellung der Befundlage

In Tabelle 8.6 sind die Resultate dieser Analyse dargestellt. Im Unterschied zu den anderen Tabellen enthält diese den zusätzlichen Endpunkt Adaptive Response, der in jüngerer Zeit in außereuropäischen Studien thematisiert wird. Auf diese Befunde wurde im Kapitel 4.5 eingegangen. Die Belege der Kategorisierung der Studien finden sich als Zitate im Folgenden in der nachfolgend angeführten Zitatliste.

Zur Erfassung der derzeitigen wissenschaftlichen Meinung zu dem Thema, wonach sich die Hintergrundfarbe der Tabellenzellen richtet, wurde der SSM-Bericht von 2016 benutzt. Die Farbzuteilung wird mit Belegen, die in der Zitatliste zu finden sind, versehen. Die Notation dazu bezieht sich auf die Seitenzahl (z.B. [S. 8]), alphanumerisch im Falle von mehreren Zitaten aus derselben Seite (z.B. [S. 17c]). Dabei handelt es sich um folgenden Bericht:

SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields (2016): Recent Research on EMF and Health Risk. Eleventh report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Field, 2016. Scientific Council on Electromagnetic Fields (SSM). Stockholm (2016:15). www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/98d67d9e3301450da4b8d2e0f6107313/201615-recent-research-on-emf-and-health-risk-eleventh-report-from-ssms-scientific-council-on-electromagnetic-fields-2016 (28.9.2020).

¹⁰⁹ Seit 2014 sieht BERENIS im Auftrag des BAFU neu publizierte wissenschaftliche Arbeiten zum Thema und bewertet diejenigen davon, die aus ihrer Sicht für den Schutz des Menschen von Bedeutung sind oder sein könnten. Die Ergebnisse werden vierteljährlich in Form eines Newsletters publiziert: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/newsletter/beratende-expertengruppe-nis-berenis.html> (28.9.2020).

Tab. 8.6 Internationale Resultate

	Zell- studien	Tier- studien	Humanstudien		
			Biologie	Gesundheit akut	Gesundheit chronisch
Krebs		[S. 7]			[S. 17d]
<i>Tumore im Kopfbereich</i>					[S. 7], 16, 88, 92, 130, 158, 208, 230, (209)
<i>Tumore bei Kindern</i> <i>andere Tumore</i>	(183), (260)	123, 188			19 111, 192, 226, (7), (61), (127)
Neurodegeneration/ neuronale Erkrankun- gen	36, 48, 49, 85, 131, 137, 144, (84), (246)	69, 94, 143, 145, 146, 148, 173, 177, 203, 286, 288 (1), (5), (33), (79), (91), (114), (121), (165), (196), (204), (266), (269), (272), (273), (284)	(139)		(157)
Fertilität		[S. 8c], 13, 90, 122, 181, 270, (4), (6), (104), (105), (106), (107), (108), (178), (217),	(116), (120), (271)		[S. 8c], 164, (15), (43), (47), (99), (140), (259), (261),

8.1 Ergänzungen, Erläuterungen und weitere Quellen zu Kapitel 4



		(273), (291),			
Entwicklung		73, 74, 185, 218, 229, (77), (80), (115), (212), (238)			[S. 18d], (40), (207), (251),
kardiovaskulär/ Blutsystem	(277)	155, (39), (62), (66), (154), (222), (239), (269), (278)	117	[S. 18b], 242,	35, 227
EEG			[S. 18c], 29, 41, 42, 53, 190, (292),	[S. 8a], 29,	
Kognition		(81), (290)	[S. 18a], 126, 138, 161, 166,		141, 176
<i>Kinder</i>					
Schlaf				[S. 18b], 133, 136, 169,	167
<i>Kinder</i>					
unspezifische Symp- tome				[S. 8b], 31, 71, 149, 160,	8, 101, 153, 168, (275)
<i>Nozeboeffekt</i> <i>Kinder</i>					
Hormone/Drüsen		97, (12),			(17)
<i>Melatonin</i> <i>Stressproteine/</i> <i>Genexpression</i>	46, 55, 113, 142, 258, (213),	50, 68			162, (14),
Blut-Hirn-Schranke		147, 151			
Verhalten allg.		57, 112, 170, 171, 172, (44), (206)		63, 180	89, 235



<i>Kinder und Jugendliche</i>					37, 56, 223, 254, 255, (24), (25),
Wirkmechanismen					
Genschädigung	[S. 17a], 132, 240, 241, 256, 257, 264, (268),	[S. 17d], (59), (231), 236, (279)			75, (72),
<i>Sauerstoffradikale</i>	51, 86, 87, 100, 175, 244, 249, (45), (103), (267)	[S. 17c], 3, 67, 93, 152, 182, (9), (10), (18), (28), (34), (281), (289),			
<i>Genexpression</i>	30				
<i>Zellfunktionen/ Membran</i>	124, 135	174			
anderes					
<i>Kinder und Jugendliche allg.</i>					38, 224
<i>ältere Menschen</i>					
<i>Immunsystem</i>		179			
<i>Metabolismus</i>	285	(110), (280)			
<i>Sinne (Gehör, Netzhaut)</i>		(11), (20), (21), (22), (23), (102), (184), (210)			(76), (186), (187)
<i>Zellen allg.</i>	[S. 17b], 32, 125, 250, (274),	26, 52, 221, (109), (197), (247)			
<i>Adaptive Response</i>		27, 95, 96, 98, 128, 262			

Effekt ausreichend
nachgewiesen

Effekt limitiert nach-
gewiesen

Effekt inadäquat
nachgewiesen*

kein Effekt nachge-
wiesen

Quelle: FSM 2017, S. 33



Zitatliste

1. (Aboul Ezz, Khadrawy et al. 2013), S. 1782: Die Exposition gegenüber elektromagnetischer Strahlung (»electromagnetic radiation« EMR) führte zu signifikanten Veränderungen bei Dopamin (»DA«), Norepinephrin (»NE«) und Serotonin (»5-HT«) in den vier ausgewählten Bereichen des Gehirns adulter Ratten. Schlussfolgerungen: Die Exposition adulter Ratten gegenüber EMR kann Störungen der Monoamin-Neurotransmitter verursachen, und dies kann vielen der nach einer EMR-Exposition berichteten unerwünschten Wirkungen – einschließlich jenen in Bezug auf Gedächtnis, Lernen und Stress – zugrunde liegen.
2. (Agarwal, Singh et al. 2011): [Review Studie]
3. (Akbari, Jelodar et al. 2014), S. 347: Es kann der Schluss gezogen werden, dass Radiofrequenzwellen (Radio Frequency Wave – RFW) oxidativen Stress im Gehirn verursachen und dass Vitamin C die Aktivität der antioxidativen Enzyme verbessert und den Malondialdehyde-(MDA-)Wert verringert.
4. (Al-Damegh 2012), S. 785: Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass die nachteilige Wirkung der erzeugten elektromagnetischen Frequenz einen negativen Einfluss auf die Architektur des Hodens und die enzymatische Aktivität hatte. Dieses Ergebnis deutete auch auf die mögliche Rolle der Vitamine C und E bei der Milderung des auf die Hoden wirkenden oxidativen Stresses und bei der Wiederherstellung des Normalzustands in den Hoden hin.
5. (Arendash, Sanchez-Ramos et al. 2010), S. 191: Dieser Bericht liefert den ersten Nachweis, dass eine langfristige EMF-Exposition, die direkt mit dem Gebrauch von Mobiltelefonen (918 MHz; 0,25 W/kg) verbunden ist, kognitive Vorteile bietet. [...] Sowohl bei normalen Mäusen als auch bei transgenen Mäusen, die dazu bestimmt sind, Alzheimer-ähnliche kognitive Beeinträchtigungen zu entwickeln, wurden sowohl kognitiv protektive als auch kognitiv fördernde Wirkungen der EMF-Exposition entdeckt. [...] Bei Mäusen mit der Alzheimer-Krankheit reduzierte die langfristige EMF-Exposition die Ablagerung von Amyloid- β (A β) im Gehirn durch A β -Antiaggregationsaktivität und erhöhte die Temperatur im Gehirn während der Expositionszeiträume. [...] Obwohl bei der Extrapolation dieser Mäusestudien auf den Menschen Vorsicht geboten ist, kommen wir zu dem Schluss, dass die EMF-Exposition ein nichtinvasives, nichtpharmakologisches Therapeutikum gegen die Alzheimer-Krankheit und einen wirksamen gedächtnisverbessernden Ansatz im Allgemeinen darstellen kann.
6. (Atasoy, Gunal et al. 2013), S. 223: Wir beobachteten signifikante Erhöhungen der 8-Hydroxy-2'-Deoxyguanosin-Werte im Serum und der 8-Hydroxyguanosin-Färbung in den Hoden der Versuchsgruppe, was auf eine DNA-Schädigung durch die Exposition hinweist ($P < 0,05$). Außerdem stellten wir in der Versuchsgruppe verminderte Werte der Katalase- und Glutathionperoxidase-Aktivität fest, was möglicherweise auf Hochfrequenzeffekte auf die

Enzymaktivität zurückzuführen ist ($P < 0,05$). Schlussfolgerungen: Diese Ergebnisse werfen Fragen zur Sicherheit der Hochfrequenzexposition durch Wi-Fi-Internetzugangsgaräte für alternde Organismen im fortpflanzungsfähigen Alter mit einer möglichen Wirkung sowohl auf die Fruchtbarkeit als auch auf die Integrität der Keimzellen auf.

7. (Atzmon, Linn et al. 2012), S. 21: Es gab Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für Krebserkrankungen, die mit Chemikalien in der verarbeitenden Industrie und in der Landwirtschaft sowie in der Elektronik in Verbindung gebracht wurden, wo es möglicherweise zu einer Exposition gegenüber EMF gekommen sein könnte. Die Studie bestätigte jedoch nicht den Verdacht auf ein erhöhtes Krebsrisiko im Zusammenhang mit Strahlung für die meisten Krebsarten in diesem Dorf. Eine Fehlklassifizierung früherer Expositionen könnte den negativen Befund erklären.
8. (Augner, Gnambs et al. 2012), S. 11: Wir führten eine Meta-Analyse durch, um mögliche Auswirkungen elektromagnetischer Felder, die von Mobiltelefonen ausgesendet werden, auf das Wohlbefinden zu beurteilen. Es wurden 17 Studien und 1.174 Teilnehmende einbezogen. Es wurden keine Auswirkungen auf subjektive (z.B. Kopfschmerzen) oder objektive (z.B. Herzfrequenzvariabilität) Aspekte gefunden.
9. (Avci, Akar et al. 2012), S. 799: Die Exposition gegenüber HF-EMR ähnlich 1,8-GHz-GSM führt zu einer Proteinoxidation im Hirngewebe und zu einer Erhöhung des Stickstoffmonoxid-Werts (»NO-Wertes«) im Serum. Wir beobachteten, dass das Verabreichen von Knoblauch die Proteinoxidation im Hirngewebe verringerte und dass es keine Auswirkungen auf den NO-Spiegel im Serum hatte.
10. (Aydin and Akar 2011), S. 261: Erhebliche, schädliche biochemische Veränderungen wurden nach der EMF-Exposition im oxidativen Stressstoffwechsel beobachtet. Die antioxidative Enzymaktivität, die Glutathion-Werte in den lymphatischen Organen und die antioxidative Kapazität des Plasmas nahmen ab, doch die Lipidperoxidation und die Stickoxid-Werte in polymorphkernigen Leukozyten (Polymorphonuclear Leukocytes – PMN) und Plasma sowie die Myeloperoxidaseaktivität in PMN nahmen zu. Die oxidative Schädigung war gewebespezifisch und die nach der Erholungsphase beobachteten Verbesserungen waren begrenzt, insbesondere bei unreifen Ratten. Schlussfolgerungen: In der vorliegenden Studie wurden in den wichtigsten lymphatischen Organen unreifer Ratten viel höhere Werte irreversibler oxidativer Schädigung beobachtet als bei reifen Ratten.
11. (Aydogan, Aydin et al. 2015), S. 626: Hochfrequenzstrahlung bei 2100 MHz schädigte die Schleimhaut der Nasenscheidewand und störte die mukoziliäre Clearance. Ziliäre Desorganisation und Zilienverlust in den Epithelzellen führten zu einer Verschlechterung der nasalen mukoziliären Clearance.



12. (Aydogan, Unlu et al. 2015), S.39: Die Ohrspeicheldrüse von Ratten zeigte nach der Exposition gegenüber 2100 MHz-Hochfrequenzstrahlung zahlreiche histopathologische Veränderungen, sowohl kurz- als auch relativ langfristig. Eine verlängerte Expositionsdauer führte zu einer Zunahme der histopathologischen Veränderungen.
13. (Bakacak, Bostanci et al. 2015), S.287: In dieser Studie wurde eine signifikante Abnahme der Anzahl von Ovarialfollikeln bei Ratten festgestellt, die einem EMF ausgesetzt waren. Es sind weitere klinische Studien erforderlich, um die Auswirkungen von EMF auf die ovarielle Reserve und Unfruchtbarkeit aufzuzeigen.
14. (Balakrishnan, Murali et al. 2014), S.339: Damit hat die Studie die Rolle von Hitzeschock-Proteinen 70 (Heat Shock Protein – HSP) und C-reaktiven Proteinen (C-Reactive Protein – CRP) im Serum als systemische Entzündungsbiomarker für durch Mobiltelefone induzierte Strahlung überzeugend belegt.
15. (Barazani, Katz et al. 2014):[Nur Endpunkte ohne Relevanz]
16. (Barchana, Margalio et al. 2012), S.5857: Schlussfolgerungen: Wir stellten eine statistisch signifikante Abnahme niedriggradiger Gliome (Low Grade Glioma – LGG) über einen Zeitraum von 30 Jahren fest, die mit der Einführung der Mobilfunktechnologie und einer Verschiebung der Lateralität hin zu linksseitigen Tumoren korreliert, wobei Letzteres sowohl bei niedrig- als auch bei hochgradigen Gliomen auftrat.
17. (Bhargava, Motwani et al. 2012), S.200: Ergebnisse. In der Gruppe der Personen mit intensiver Nutzung wurde ein signifikanter Anstieg der Speichelflussrate zusammen mit einer erhöhten Blutflussrate und einem erhöhten Volumen der Ohrspeicheldrüsen auf der Seite, auf der Mobiltelefone häufig gehalten werden, beobachtet. Schlussfolgerungen Intensive Nutzer von Mobiltelefonen zeigten eine Erhöhung von Speichelflussrate, Blutflussrate und Volumen der Ohrspeicheldrüsen.
18. (Bilgici, Akar et al. 2013), S.20: Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass es einen signifikanten Anstieg der Hirn-Lipid- und Proteinoxidation nach Exposition gegenüber elektromagnetischer Strahlung (Electromagnetic Radiation – EMR) gibt und dass Knoblauch eine schützende Wirkung gegen diesen oxidativen Stress hat.
19. (Boice and Tarone 2011), S.1212: Es sollte bedacht werden, dass zusätzlich zu den negativen epidemiologischen Daten kein biologisch plausibler Mechanismus bekannt ist, durch den nichtionisierende Radiowellen niedriger Energie die DNA beeinträchtigen und zu Krebs führen können.
20. (Budak, Muluk et al. 2009a), S.1143: Schädliche Auswirkungen einer GSM-ähnlichen 1800-MHz-HF-Exposition wurden bei adulten weiblichen Kaninchen häufiger durch die Messung von distorsivproduzierten otoakustischen Emissionen (DPOAE-Messung) festgestellt als bei weiblichen Jungtieren. Längere Exposition und Hyperthermie im Zusammenhang mit der

Leistungsdichte der angelegten Hochfrequenzstrahlung (Radio Frequency Radiation – RFR), die die Temperatur im Gehörgang erhöht, können die DPOAE-Amplituden verringern. Ein wasserhaltiges Medium im Mittelohr junger Kaninchen kann beim Schutz vor einer Schädigung durch HF eine Rolle spielen.

21. (Budak, Muluk et al. 2009b): Schädliche Auswirkungen von HF werden hauptsächlich als eine Verringerung der DPOAE-Amplituden bei 4,0–6,0 kHz während der extrauterinen Exposition im Säuglingsalter beobachtet. Während der intrauterinen Periode können der Wassergehalt des Mittel- und Innenohrs und das Fruchtwasser eine schützende Rolle spielen. Daher müssen Kinder vor einer HF-Exposition geschützt werden. Die Verwendung von Mobiltelefonen in kurzer Entfernung vom Ohr der Säuglinge sollte wegen der geringeren Dicke der anatomischen Struktur im Säuglingsalter vermieden werden.
22. (Budak, Muluk et al. 2009c): Wir kommen zu dem Schluss, dass, wenn das anatomische Wachstum der exponierten Lebewesen abgeschlossen ist und die extrauterine GSM-ähnliche HF-Exposition nicht verlängert wird, es gemessen an DPOAEs keine bedeutenden schädlichen Auswirkungen auf das Innenohr weiblicher Kaninchen geben wird. Der beobachtete Anstieg der DPOAE-Amplituden bei 1,0–2,0 kHz zeigt die Zunahme der Cochlea-Aktivität und der Elektromotilität der äußeren Haarzellen. Längere Exposition und Hyperthermie im Zusammenhang mit der Leistungsdichte der angelegten Hochfrequenzstrahlung (Radio Frequency Radiation – RFR), die die Temperatur im Gehörgang erhöht, können die DPOAE-Amplituden verringern, insbesondere während der intrauterinen Periode. Wenn schwangere Frauen Ohrhörer benutzen oder sogar ihre Mobiltelefone in der Hand- oder Hosentasche tragen, kann der Fötus aus sehr kurzer Entfernung GSM-ähnlichen HF-Strahlen ausgesetzt sein, sodass der Expositionspegel über den Standardgrenzwerten liegt, was zu einer Toxizität im Ohr mit verringerten DPOAEs führen kann.
23. (Budak, Muluk et al. 2009d): GSM-ähnliche Hochfrequenzstrahlung (RFR) verursachte eine Verringerung der DPOAE-Amplituden hauptsächlich bei nicht trächtigen adult Kaninchen. Längere Exposition kann die DPOAE-Amplitude beeinflussen. Es werden Empfehlungen gegeben, um die potenziell gefährlichen Auswirkungen von HF beim Menschen zu verhindern.
24. (Byun, Ha et al. 2013), S. e59742: Das Risiko von Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung-Symptomen (ADHS-Symptomen) war mit der Nutzung von Mobiltelefonen für Sprachanrufe verbunden, doch der Zusammenhang beschränkte sich auf Kinder, die relativ hohen Bleiwerten ausgesetzt waren. Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die gleichzeitige Exposition gegenüber Blei und HF durch die Nutzung von Mobiltelefonen mit einem erhöhten Risiko von ADHS-Symptomen verbunden war,



obwohl eine mögliche umgekehrte Kausalität nicht ausgeschlossen werden konnte.

25. (Byun, Ha et al. 2013), S. e2013018: In Anbetracht der epidemiologischen Charakteristika der Nutzung von Mobiltelefonen sind Vorsichtsmaßnahmen zur Vermeidung einer unnötigen Exposition durch Mobiltelefone bei Kindern und Jugendlichen erforderlich.
26. (Cam, Seyhan et al. 2014), S. 643: Unter unseren Versuchsbedingungen – bei einem SAR-Wert, der unterhalb des empfohlenen Sicherheitsgrenzwertes der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) lag – gab es Hinweise darauf, dass GSM-Signale die Hydroxyprolin-Konzentration in der Rattenhaut verändern könnten.
27. (Cao, Xu et al. 2011), S. 720: Die Ergebnisse zeigten eine signifikante Zunahme der Überlebenszeit und eine Verminderung der Schädigungen von hämatopoetischem Gewebe bei HF-vorexponierten Mäusen, die gammabestrahlten wurden (im Vergleich zu Mäusen, die nur Gammastrahlung ausgesetzt wurden). Dies ging einher mit einer signifikant erhöhten Expression von Genen, die mit dem Zellzyklus in Zusammenhang stehen, nämlich Cyclin-D1, Cyclin-E, Cyclin-DK4 und Cyclin-DK2 in hämatopoetischen Zellen. Schlussfolgerungen: Die Vorexposition von Mäusen gegenüber 900-MHz-Hochfrequenzfeldern hat zu einer signifikanten Verringerung der hämatopoetischen Schädigungen geführt, die durch die nachfolgende Exposition gegenüber ionisierender Strahlung verursacht werden. Dieses Phänomen scheint dem der »adaptiven Reaktion« zu ähneln, das in der wissenschaftlichen Literatur gut dokumentiert ist.
28. (Cao, Qin et al. 2015), S. 071: Die zirkadianen Rhythmen in der Synthese von Melatonin (Mel) und antioxidativen Enzymen, GSH-Px und SOD, waren bei HF-exponierten Ratten im Vergleich zu scheinexponierten Tieren verschoben: die Melatonin-, GSH-Px- und SOD-Werte waren signifikant vermindert, wenn eine HF-Exposition um 23 und 3 Uhr GMT gegeben war. Schlussfolgerung: Die Gesamtergebnisse deuten darauf hin, dass es schädliche Auswirkungen der HF-Exposition auf die antioxidative Funktion geben könnte, sowohl hinsichtlich der täglichen Antioxidantienpiegel als auch der zirkadianen Rhythmik.
29. (Carrubba, Frilot et al. 2010), S. 164: Bei 20 Freiwilligen wurden Elektroenzephalogramme (EEG) von sechs Standardorten aufgenommen und analysiert, um Hirnpotenziale nachzuweisen, die durch einen Puls von der Art, wie er von Mobiltelefonen erzeugt wird, ausgelöst werden. Bei 90 % der Probanden wurden evozierte Potenziale (Evoked potential – EP) mit der erwarteten Latenzzeit gefunden, die mit einer nichtlinearen Methode der EEG-Analyse bewertet wurden. Evozierte Potenziale wurden bei der Analyse der EEGs mittels Zeitmittelung nicht nachgewiesen. Die Möglichkeit eines systematischen Fehlers wurde durch Scheinexpositionsanalysen ausgeschlossen. Die

Ergebnisse implizierten, dass Mobiltelefone bei normaler Telefonnutzung EP mit einer Frequenz von 217 Hz auslösen. Die chronische Erzeugung einer veränderten Hirnaktivität könnte für die Berichte über Gesundheitsrisiken bei Mobiltelefonnutzern relevant sein.

30. (Chen, Lu et al. 2012), S. 550: Zusammenfassend deuten die Ergebnisse dieser Studie darauf hin, dass die Hefezellen die Genexpression als Reaktion auf 50-Hz-ELF-Magnetfelder nicht verändert haben und dass die Reaktion auf HF-EMF auf eine nur sehr geringe Anzahl von Genen beschränkt ist. Die möglichen biologischen Konsequenzen der durch HF-EMF induzierten Veränderungen der Genexpression bedürfen weiterer Untersuchungen.
31. (Chu, Song et al. 2011), S. 115: Wir stellten fest, dass mit der Mobiltelefonnutzung verbundene Kopfschmerzen (Headache Associated with Mobile Phone Use – HAMP) in der Regel stereotype klinische Merkmale aufwies, darunter eine milde Intensität, eine stumpfe oder drückende Qualität, eine ipsilaterale Lokalisation auf der Seite der Mobiltelefonnutzung, eine Provokation durch längere Mobiltelefonnutzung und häufig begleitet von einem brennenden Gefühl.
32. (Canseven, Esmekaya et al. 2015), S. 1: Die kombinierte Exposition gegenüber Mikrowellen (MW) und Gemcitabin erhöhte die Anzahl apoptotischer Zellen im Vergleich zur MW-Strahlung allein. Darüber hinaus war die Lebensfähigkeit von Zellen, die MW + Gemcitabin ausgesetzt waren, geringer als die von Zellen, die nur gegenüber MW exponiert wurden. Diese Ergebnisse zeigten, dass die MW-Strahlenexposition und die Behandlung mit Gemcitabin eine synergistische Wirkung auf die apoptotische Aktivität der Rajizellen haben.
33. (Celikozlu, Ozyurt et al. 2012), S. 344: [Studie niedriger Qualität]
34. (Cetin, Naziroglu et al. 2014), S. 1915: EMR-induzierter oxidativer Stress in Gehirn und Leber wurde während der Entwicklung der Nachkommen reduziert. Die durch Mobiltelefone induzierte EMR könnte als Ursache für oxidative Hirn- und Leberschäden bei alternden Ratten in Betracht gezogen werden.
35. (Chen, Xu et al. 2013), S. 285: Wenn mehrere bekannte Risikofaktoren für Herz-Kreislauf-Erkrankungen berücksichtigt wurden, einschließlich Rauchen, Alter, Alkohol-Einnahmegewohnheit usw., war die Expositionsdauer kein effektiver Faktor für Elektrokardiogramm-Veränderungen, Sinus-Arrhythmie oder Sinus-Bradykardie gemäß $\alpha = 0,05$, während $P = 0,052$ für Sinus-Arrhythmie sehr nahe bei 0,05 lag. Wir stellten keinen statistischen Unterschied bei der Herzfrequenz, der Dauer der QRS-Welle (ventrikuläre Depolarisation) oder den korrigierten QT-Intervallen (zwischen dem Beginn der Q-Welle und dem Ende der T-Welle) zwischen der exponierten und der Kontrollgruppe fest. Die berufliche Exposition gegenüber hochfrequenter



Strahlung wurde unter Berücksichtigung der Störfaktoren nicht als ursächlich für EKG-Veränderungen befunden.

36. (Chen, Ma et al. 2014), S. 5103: Wir fanden heraus, dass eine 1800-MHz-HF-EMF-Exposition keinen Einfluss auf eNSC-Apoptose, Proliferation, Zellzyklus oder die mRNA-Expressionen verwandter Gene hat. Die HF-EMF-Exposition veränderte auch nicht das Verhältnis von eNSC-differenzierten Neuronen und Astrozyten. Allerdings war der Neuritenauswuchs der eNSC-differenzierten Neuronen nach einer HF-EMF-Exposition mit 4 W/kg über 3 Tage gehemmt. Darüber hinaus waren die mRNA- und Proteinexpression der proneuralen Gene *Ngn1* und *NeuroD*, die für den Neuritenauswuchs entscheidend sind, nach der HF-EMF-Exposition vermindert. Die Expression ihres Inhibitors *Hes1* wurde durch HF-EMF-Exposition hochreguliert. Diese Ergebnisse legten zusammengekommen nahe, dass eine 1800-MHz-HF-EMF-Exposition den Neuritenauswuchs von eNSCs beeinträchtigt. Den möglichen schädlichen Auswirkungen der HF-EMF-Exposition auf die Hirnentwicklung sollte mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden.
37. (Chiu, Chang et al. 2015), S. 598: Obwohl das Querschnittsdesign die kausale Schlussfolgerung für den beobachteten Zusammenhang ausschließt, neigte unsere Studie dazu, auf die Notwendigkeit eines vorsichtigeren Gebrauchs von Mobiltelefonen bei Kindern hinzudeuten, da erwartet wird, dass Kinder während ihrer Lebensdauer eine länger andauernde Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (RF-EMF) von Mobiltelefonen erfahren.
38. (Choi, Kwon et al. 2014), S. 438: Kurzzeitige WCDMA-HF-EMF generierten keine signifikanten Veränderungen des autonomen Nervensystems (Autonomic Nervous System – ANS), der subjektiven Symptome oder der Prozentsätze derer, die glaubten, in einer der beiden Gruppen exponiert zu sein. Schlussfolgerungen: Unter Berücksichtigung der analysierten physiologischen Daten, der untersuchten subjektiven Symptome und der Prozentsätze derer, die glaubten, exponiert zu sein, zeigten 32 Minuten HF-Strahlung, die von WCDMA-Mobiltelefonen ausgesendet wurde, weder bei erwachsenen noch bei jugendlichen Probanden eine Wirkung.
39. (Colak, Parlakpinar et al. 2012), S. 629: Unserer Erfahrung nach zeigten die erhaltenen Ergebnisse sowohl vor als auch nach dem Experiment keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Parameter Blutdruck, Herzfrequenz und Elektrokardiogramm (Electrocardiogram – EKG) zwischen den Gruppen. Auch Melatonin zeigte keinerlei zusätzliche Auswirkungen – weder vorteilhaft noch gefährlich – auf die Herz-Hämodynamik von Ratten. Daher könnte die (kontaktlose) Strategie der Verwendung eines 3G-Mobiltelefons der Grund für die Unwirksamkeit sein. Daher scheint es in dieser Hinsicht sicherer zu sein, 3G-Mobiltelefone zu verwenden als solche, die in engem

- Kontakt mit dem Kopf verwendet werden. Für die Standardisierung einer solchen Annahme sind jedoch weitere Studien erforderlich.
40. (Col-Araz 2013), S.459: Schlussfolgerung: Mobiltelefone und Computer können einen Einfluss im Hinblick auf Frühgeburten haben.
 41. (Croft, Hamblin et al. 2008), S. 1: Unter Anwendung einer starken Methodik stützen die aktuellen Ergebnisse frühere Forschungsarbeiten, die über einen Effekt der Exposition durch Mobiltelefone auf die Alpha-Leistung im EEG berichtet haben.
 42. (Croft, Leung et al. 2010), S.434: Die Ergebnisse stützen ferner eine Wirkung von 2G-Expositionen auf die Alpha-Aktivität im Ruhezustand bei jungen Erwachsenen, doch sie belegen keine ähnliche Verstärkung bei Jugendlichen oder älteren Menschen oder bei beliebigen Altersgruppen in Abhängigkeit von der 3G-Exposition.
 43. (Dama and Bhat 2013), S.40: Die Stärke der Evidenz für die verschiedenen Ergebnisse variierte von sehr niedrig bis sehr hoch. Die Analyse zeigt, dass die Nutzung von Mobiltelefonen möglicherweise mit einer Reihe schädlicher Auswirkungen auf Spermien verbunden ist.
 44. (Daniels, Pitout et al. 2009), S.629: Wir stellten keine signifikanten Unterschiede beim Testen des räumlichen Gedächtnisses fest und auch die morphologische Beurteilung des Gehirns ergab nichtsignifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Bei einigen exponierten Tieren gab es jedoch eine verminderte lokomotorische Aktivität, vermehrte Fellpflege und eine Tendenz zu erhöhten basalen Corticosteronspiegeln. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die EMR-Exposition zu einer abnormen Hirnfunktion führen kann.
 45. (Dasdag, Akdag et al. 2009), S. 342: Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der finale Wert für Apoptose, die gesamte antioxidative Kapazität und die Katalase im Rattenhirn durch 900-MHz-Strahlung verändert werden könnte, die von einem Generator erzeugt wird, um die Exposition von Mobiltelefonen nach dem GSM-Standard (Global Systems for Mobile Communications) darzustellen.
 46. (Dasdag, Akdag et al. 2012), S. 67: Zusammenfassend betrachtet kann die von Mobiltelefonen emittierte 900-MHz-Strahlung ein Agens sein, das einige Biomoleküle wie z. B. Proteine verändert. Es sind jedoch weitere Studien erforderlich.
 47. (Dasdag, Tas et al. 2015), S. :1536: Abschließend stellten wir fest, dass eine Langzeitexposition gegenüber 2,4-GHz-HF, die von Wi-Fi emittiert wird (2420 mW/kg, durchschnittlich 1 g), einige der Reproduktionsparameter männlicher Ratten beeinflusst. Wir empfehlen Wi-Fi-Nutzern, eine langfristige Exposition gegenüber HF-Emissionen von Wi-Fi-Geräten zu vermeiden.
 48. (Dasdag, Akdag et al. 2015), S.555: Eine Langzeitexposition gegenüber 2,4-GHz-HF kann zu schädlichen Auswirkungen führen, wie z. B. neurodegenerativen Erkrankungen, die durch die Veränderung eines Teils der miRNA-



- Expression entstehen. Es sollten mehr Studien zu den Auswirkungen von HF-Strahlung auf die miRNA-Expressionsniveaus durchgeführt werden.
49. (Dasdag, Akdag et al. 2015), S. 306: 900-MHz-HF-Strahlung kann einen Teil der miRNA verändern, was wiederum zu unerwünschten Effekten führen kann. Daher sollten weitere Studien durchgeführt werden.
 50. (Dawe, Bodhicharla et al. 2009), S. 602: Wir kommen zu dem Schluss, dass das Muster der Genexpression bei *C. elegans* (L4/adult) durch Mikrowellenstrahlung geringer Intensität im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt. Die in dieser Studie beobachteten geringfügigen Veränderungen könnten durchaus falsch positiv sein. Als Positivkontrolle verglichen wir RNA-Proben von N2-Würmern, die einer milden Hitzeschockbehandlung (30 °C) unterzogen wurden, mit Kontrolltieren bei 26 °C (zwei Gen-Arrays pro Bedingung). Wie erwartet, sind Hitzeschockgene bei 30 °C stark hochreguliert, insbesondere ein Element der hsp-70-Familie (C12C8.1) und hsp-16.2. Unter diesen Hitzeschockbedingungen bestätigten wir, dass ein hsp-16.2::GFP-Transgen stark hochreguliert war, während zwei nicht hitzeinduzierbare Transgene (daf-16::GFP, cyp-34A9::GFP) nur eine geringe Veränderung der Expression zeigten.
 51. (De Iuliis, Newey et al. 2009), S. e6446: HF-EMR sowohl in der Leistungsdichte als auch im Frequenzbereich von Mobiltelefonen erhöht die Bildung mitochondrialer reaktiver Sauerstoffspezies durch menschliche Spermatozoen, wobei die Motilität und Vitalität dieser Zellen verringert und gleichzeitig die Bildung von DNA-Basenaddukten sowie schließlich die DNA-Fragmentierung stimuliert wird. Diese Ergebnisse haben klare Auswirkungen auf die Sicherheit einer extensiven Nutzung von Mobiltelefonen durch Männer im fortpflanzungsfähigen Alter, was sich möglicherweise sowohl auf ihre Fruchtbarkeit als auch auf die Gesundheit und das Wohlbefinden ihrer Nachkommen auswirkt.
 52. (Demirel, Doganay et al. 2012), S. 89: Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass 3G-Mobilfunkstrahlung während einer kurzen Expositionsdauer bei Ratten nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Augengewebe und Blut führt.
 53. (de Tommaso, Rossi et al. 2009), S. 79: Das Ziel der vorliegenden Studie war die Bewertung des initialen Erwartungspotenzials (iCNV), induziert durch eine 900-MHz-GSM-Exposition, in einem Doppelblinddesign [...]. Es wurden zehn gesunde rechtshändige Freiwillige bewertet. Das Erwartungspotenzial (Cognitive Negative Variation – CNV) wurde während eines 10-minütigen Zeitintervalls in jeder der drei Versuchsbedingungen A, B und C aufgezeichnet, um die iCNV-Amplitude und -Habituation zu beurteilen. Die iCNV-Amplitude verringerte sich und die Habituation an die Bedingungen A und B nahm im Vergleich zu Zustand C zu. Dieser Effekt war diffus über die Kopfhaut verteilt und es gab keine signifikante Prävalenz der iCNV-

Amplitudenverringern auf der linken Seite, wo sich die Telefone befanden. Die Mobiltelefonexpositionen A und B schienen auf die elektrische Aktivität des Gehirns zu wirken und reduzierten die Erregung und Erwartung eines Warnreizes. Dieser Nachweis, der durch die geringe Anzahl der untersuchten Probanden begrenzt ist, könnte durch eine Wirkung erklärt werden, die sowohl durch das GSM-Signal als auch durch das extrem niederfrequente Magnetfeld induziert wird, das durch die Batterie und die internen Schaltkreise erzeugt wird.

54. (Ding, Wang et al. 2009), S. 374: Das 1950-MHz-Hochfrequenzfeld hat nur geringe oder keine ersichtliche Wirkung auf die Expression von Hsp70 und Hsp27 in MO54-, A172- und T98-Zellen.
55. (Ding and Wang 2011), S. 3319: Die altersbereinigte Inzidenz von Hirn- und Nerventumoren im Stadtgebiet Shanghai für 2020 wurde auf 7,4 bzw. 10,9 pro 100.000 Personenjahre geschätzt. Die Studie untermauerte keinen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und einem erhöhten Risiko für Hirn- und Nerventumoren. In Anbetracht der steigenden Inzidenzrate von Hirn- und Nerventumoren jetzt und in Zukunft sowie zusätzlich zu der hohen Prävalenz der Mobiltelefonexposition in der Bevölkerung und weltweit, ist es jedoch gerechtfertigt, die Trends bei der Inzidenzrate von Hirntumoren über eine längere Nachbeobachtungszeit zu bewerten.
56. (Divan, Kheifets et al. 2008), S. 523: Die pränatale und, in geringerem Maße, postnatale Exposition gegenüber Mobiltelefonen war mit Verhaltensschwierigkeiten wie emotionalen und Hyperaktivitätsproblemen um das Schuleintrittsalter herum verbunden. Diese Zusammenhänge sind möglicherweise nicht kausal und können auf ungemessene Konfundierung zurückzuführen sein. Wenn es sie wirklich gäbe, wären sie angesichts der weit verbreiteten Nutzung dieser Technologie von Belang für die öffentliche Gesundheit.
57. (Deshmukh, Banerjee et al. 2013), S. 114: Es sollte bedacht werden, dass zusätzlich zu den negativen epidemiologischen Daten kein biologisch plausibler Mechanismus bekannt ist, durch den nichtionisierende Radiowellen niedriger Energie die DNA beeinträchtigen und zu Krebs führen können.
58. (Deshmukh, Megha et al. 2013), S. 19: In der vorliegenden Studie haben wir DNA-schädigende Auswirkungen schwacher Mikrowellenstrahlung im Gehirn nachgewiesen. Schlussfolgerung: Wir kamen zu dem Schluss, dass eine Exposition gegenüber Mikrowellenstrahlung mit niedriger SAR bei diesen Frequenzen DNA-Strangbrüche im Hirngewebe induzieren kann.
59. (Deshmukh, Nasare et al. 2015), S. 284: Die Ergebnisse zeigten bei den gegenüber Mikrowellen exponierten Tieren eine verminderte kognitive Funktion, einen erhöhten HSP70-Spiegel und eine DNA-Schädigung im Gehirn. Die Ergebnisse zeigten, dass eine chronische Mikrowellenexposition niedriger Intensität im Frequenzbereich von 900 bis 2450 MHz gefährliche Auswirkungen auf das Gehirn haben kann.



60. (Divan, Kheifets et al. 2012), S. 524: Die Exposition gegenüber Mobiltelefonen war pränatal und, in geringerem Maße, postnatal mit Verhaltensschwierigkeiten wie emotionalen und Hyperaktivitätsproblemen um das Schuleintrittsalter herum verbunden. Diese Zusammenhänge sind möglicherweise nicht kausal und können auf unbeobachtete Konfundierung zurückzuführen sein. Wenn es sie wirklich gäbe, wären sie angesichts der weit verbreiteten Nutzung dieser Technologie von Belang für die öffentliche Gesundheit.
61. (Dode, Leao et al. 2011), S. 3649: Die Ergebnisse zeigen, dass bis Dezember 2006 etwa 856 Basisstationen installiert waren. Die meisten (39,60 %) der Basisstationen befanden sich in der Region »Centro-Sul« (»Zentral-Süd«) der Kommune. Zwischen 1996 und 2006 gab es 7.191 Todesfälle durch Neoplasien, und in einem Gebiet innerhalb von 500 m Entfernung von der Basisstation lag die Sterblichkeitsrate bei 34,76 pro 10.000 Einwohner. Außerhalb dieses Gebiets kam es zu einem Rückgang der Zahl der auf Neoplasien zurückzuführenden Todesfälle. Die höchste kumulierte Inzidenz lag bei 5,83 pro 1.000 Einwohner in der Region »Zentral-Süd« und die niedrigste Inzidenz bei 2,05 pro 1.000 Einwohner in der Region Barreiro. Während der Umweltüberwachung wurden das stärkste kumulierte elektrische Feld mit 12,4 V/m und das schwächste mit 0,4 V/m gemessen. Die höchste Leistungsdichte betrug 40,78 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, die niedrigste 0,04 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.
62. (El-Bediwi, Saad et al. 2013), S. 297: Versuchsergebnisse zeigen, dass es signifikante Veränderungen hinsichtlich der Bestandteile des Blutes und seiner Viskosität gibt, die sich aufgrund vieler körperlicher Probleme auf den Blutkreislauf auswirken. Rote Blutkörperchen, weiße Blutkörperchen und Thrombozyten sind nach der Exposition gegenüber der durch Mobiltelefone generierten elektromagnetischen Strahlung beschädigt. Auch die Werte der Blutviskosität und Plasmapviskosität sind erhöht, aber der Wert der osmotischen Fragilität verringerte sich nach der Exposition gegenüber der durch Mobiltelefone erzeugten elektromagnetischen Strahlung.
63. (Elliott, Toledano et al. 2010), S. c3077: Die Ergebnisse zeigten, dass die Exposition der linken Gehirnhälfte die Reaktionszeit der linken Hand im zweiten – späteren – Teil des Experiments verlangsamt. Dieser Effekt zeigte sich bei drei der vier Aufgaben und war nur bei einem der Tests hoch signifikant. Die Expositionsintensität und -dauer überstieg die übliche Exposition von Mobiltelefonnutzern.
64. (Eltiti, Wallace et al. 2007), S. 137: Die beiden wichtigsten Ergebnisse dieser Studie waren die Entwicklung einer Skala, die einen Index der Art und Intensität von Symptomen liefert, die von Menschen, die sich für elektrosensibel (EHS) halten, häufig erlebt werden, und eines Screening-Tools, mit dem Forscher eine Vorauswahl der empfindlichsten Personen treffen können, die an ihrer Forschungsarbeit teilnehmen sollen.

65. (Elwood 2012), S. 85: Die umfangreiche Studie berichtet über die Mortalität und Morbidität, die in Krankenakten und durch regelmäßige Untersuchungen festgehalten werden, sowie über selbstberichtete Symptome. Die Expositionswerte waren niedrig, aber ähnlich oder höher als die heutigen Expositionen gegenüber Hochfrequenzquellen wie z.B. Mobilfunk-Basisstationen. Die Schlussfolgerungen besagten, dass keine gesundheitsschädlichen Auswirkungen der Strahlung nachgewiesen werden konnten. Die Gültigkeit der Studie hängt von der Annahme ab, dass die Mitarbeiter der anderen Botschaften ähnlichen Hochfrequenzen nicht ausgesetzt waren. Dies wurde in Frage gestellt, und es wurden andere Interpretationen der Daten vorgelegt. Schlussfolgerungen: Die Schlussfolgerungen des ursprünglichen Berichts werden bestätigt. Entgegengesetzte Schlussfolgerungen aus einigen anderen Berichten sind auf eine Fehlinterpretation der Ergebnisse zurückzuführen.
66. (Eris, Kiziltan et al. 2015), S. 101: Es wurde festgestellt, dass eine einzige 45-minütige Exposition gegenüber schwacher elektromagnetischer Strahlung (Low-level Electromagnetic Radiation – LLER) den 5-HT-Spiegel im Blut signifikant erhöhte, den Glutamatspiegel von Ratten aber nicht veränderte. Es wurde der Schluss gezogen, dass sogar eine einzige 45-minütige LLER-Exposition einen Anstieg des 5-HT-Spiegels bewirken kann, ohne den Glutamatspiegel im Blut zu verändern. Ein erhöhter 5-HT-Spiegel kann zu einer Lernverzögerung und einem Defizit des räumlichen Gedächtnisses führen.
67. (Esmekaya, Ozer et al. 2011), S. 84: Die Ergebnisse unserer Studie zeigten, dass pulsmodierte HF-Strahlung oxidative Schädigungen in Leber-, Lungen-, Hoden- und Herzgewebe verursacht, die durch Lipidperoxidation, erhöhte NOx-Konzentration und Unterdrückung des antioxidativen Abwehrmechanismus vermittelt werden.
68. (Finnie, Chidlow et al. 2009) S. 276: Ergebnisse: Es gab keine Induktion von HSP32 oder HSP70 bei keinem der Gehirne, während die Expression von HSP25 auf zwei Hirnstammkerne beschränkt war und durchgängig bei exponierten und nicht exponierten Gehirnen auftrat. Schlussfolgerung: Die gesamte Exposition fetaler Gehirne von Mäusen gegenüber hochfrequenten Mobilfunkfeldern während der Trächtigkeit erzeugte keine Stressreaktion unter Verwendung von HSP als immunhistochemischem Marker.
69. (Finnie, Cai et al. 2010), S. 151: Im Vergleich zu Gehirnen der Kontrollgruppe (scheinexponierte oder frei bewegliche Käfigmäuse) gab es keine Erhöhung der mikroglialen Iba1-Expression bei Gehirnen, die kurz- oder langfristig gegenüber Mobilfunk-Mikrowellen exponiert wurden, während in geschädigtem neuronalem Gewebe der Positivkontrolle eine wesentliche Mikroglia-Aktivierung auftrat. Schlussfolgerung: Eine akute (60 Minuten) oder länger andauernde (2 Jahre) Exposition des Gehirns von Mäusen gegenüber HF-Feldern von Mobiltelefonen erzeugte keine mikrogliale Aktivierung, die durch Iba1-Immunfärbung nachweisbar war.



70. (Frilot, Carrubba et al. 2014), S. 191: Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die afferenten Signale, die durch die Transduktion schwacher EMF ausgelöst und mittels Rekurrenzanalyse des EEG als EEP (SubliminaElectromagnetic Fields-evoked Potentials – EMF-EPP) erkannt wurden, wahrscheinlich durch N-methyl-d-aspartate-Rezeptoren (NMDA-Rezeptoren) im Trigeminskern vermittelt wurden.
71. (Furubayashi, Ushiyama et al. 2009) S. 100: Zusammenfassend betrachtet fanden wir keinen Nachweis eines kausalen Zusammenhangs zwischen Überempfindlichkeitssymptomen und der Exposition gegenüber EMF von Basisstationen.
72. (Gandhi, Kaur et al. 2015), S. 1: Die genetischen Schädigungsparameter DNA-Migrationslänge, Schädigungshäufigkeit (DF) und Schädigungsindex waren in der Probengruppe im Vergleich zu den entsprechenden Werten bei gesunden Kontrollprobanden signifikant ($p \leq 0,000$) erhöht. Die weiblichen Bewohner ($n = 425$) der Probengruppe hatten einen signifikant ($p \leq 0,004$) höheren DF-Wert als die männlichen Bewohner ($n = 438$). Die lineare Regressionsanalyse ergab ferner, dass die tägliche Mobiltelefonnutzung, der Wohnort und die Leistungsdichte signifikante Prädiktoren für eine genetische Schädigung sind. Die genetischen Schädigungen, die bei den Teilnehmern dieser Studie offensichtlich sind, müssen im Hinblick auf zukünftige Krankheitsrisiken angegangen werden, die neben neurodegenerativen Erkrankungen auch zu Krebs führen können.
73. (Grigoriev, Grigoriev et al. 2010), S. 589: Die HF-Exposition führte zu einer geringfügigen Erhöhung der Bildung von Antikörpern im Hirngewebe-Extrakt, und die Exposition schien nicht pathologisch zu sein. Darüber hinaus wurde eine Studie durchgeführt, um eine frühere sowjetische Studie zu den Auswirkungen der Injektion von Blutserum von HF-exponierten Ratten auf die Schwangerschaft und die Entwicklung der Föten und Nachkommen von Ratten unter Verwendung eines ähnlichen Tiermodells und Protokolls zu replizieren. Unsere Ergebnisse zeigten die gleichen allgemeinen Trends wie die frühere Studie, was auf mögliche schädliche Wirkungen des Blutserums exponierter Ratten auf Trächtigkeit und fetale Entwicklung unversehrter Ratten hindeutet. Die Anwendung dieser Ergebnisse bei der Entwicklung von Expositionsstandards ist jedoch begrenzt.
74. (Gul, Celebi et al. 2009), S. 729: Ergebnisse: Die Analyse ergab, dass die Anzahl der Follikel in der Studiengruppe geringer war als in der Kontrollgruppe. Die verringerte Anzahl von Follikeln bei Welpen, die Mobilfunk-Mikrowellen ausgesetzt waren, deutet darauf hin, dass eine intrauterine Exposition toxische Auswirkungen auf die Eierstöcke hat. Schlussfolgerung: Wir weisen darauf hin, dass die Mikrowellen von Mobiltelefonen die Anzahl der Follikel bei Ratten durch mehrere bekannte und zweifellos zahlreiche unbekannte Mechanismen verringern könnten.

75. (Gulati, Yadav et al. 2016), S. 615: Es gab einen signifikanten Anstieg der Häufigkeit der Mikronukleusassay in bukkalen Zellen (Micronucleus Assay in Buccal Cells, BMN-Häufigkeit) und des TM-Wertes (Tail Moment) bei den exponierten Testpersonen ($3,65 \pm 2,44$ und $6,63 \pm 2,32$) im Vergleich zu den Kontrollprobanden ($1,23 \pm 0,97$ und $0,26 \pm 0,27$). Es gab jedoch keinen Zusammenhang zwischen den GSTM1- und GSTT1-Polymorphismen und dem Ausmaß der DNA-Schädigung sowohl in den exponierten als auch in den Kontrollgruppen.
76. (Gupta, Goyal et al. 2015), S. CC07: Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Hörbahnen vom Nervus cochlearis zum auditorischen Hirnstamm durch Mobiltelefone nicht beeinträchtigt werden. In der Gruppe der Mobiltelefonnutzer (Fälle) gaben 30 Testpersonen an, beide Ohren gleichermaßen zu benutzen, 17 benutzten hauptsächlich ihr linkes Ohr und 20 benutzten beim Telefonieren hauptsächlich ihr rechtes Ohr. Daher war ein Vergleich der Lateralisierung der Mobiltelefonnutzung für jede Gruppe statistisch nicht möglich.
77. (Guler, Tomruk et al. 2010), S. 59: Bei den Neugeborenen wurde kein Unterschied festgestellt ($p > 0,05$, Mann-Whitney). Es gibt nur sehr wenige experimentelle Studien über die Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung (RFR) während der Schwangerschaft. Es wäre vorteilhaft, die Zahl dieser Studien zu erhöhen, um internationale Standards für den Schutz schwangerer Frauen vor Hochfrequenzstrahlung festzulegen.
78. (Gye and Park 2012), S. 1: [Review]
79. (Haghani, Shabani et al. 2013), S. 588: Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Studie, dass die pränatale EMF-Exposition zu veränderten elektrophysiologischen Eigenschaften der Purkinje-Neuronen führt. Diese Veränderungen sind jedoch möglicherweise nicht schwerwiegend genug, um die vom Kleinhirn abhängigen Funktionsaufgaben zu verändern.
80. (Hanci, Turedi et al. 2015), S. 535: Die Exposition gegenüber 900-MHz-EMF während der pränatalen Periode kann pathologische und biochemische Veränderungen verursachen, die die Entwicklung des Thymus und der Milz männlicher Ratten beeinträchtigen können.
81. (Hao, Yang et al. 2013), S. 157: Es deutet darauf hin, dass die 916-MHz-EMF das Lernen und das Gedächtnis von Ratten in einem Zeitraum während der Exposition bis zu einem gewissen Grad beeinflussen und dass die Ratten sich an langfristige EMF-Exposition anpassen können.
82. (Hassoy, Durusoy et al. 2013), S. 10: Das Verständnis der Auswirkungen dieser Determinanten könnte bei der Entwicklung wirksamerer pädagogischer Interventionen für spezifische Untergruppen zu diesem Thema hilfreich sein. Da die Debatten über die gesundheitlichen Folgen elektromagnetischer Felder andauern, wäre es umsichtig, dieses Thema mit einer präventiven Perspektive anzugehen. Es sollten Anstrengungen unternommen werden, um den



- unterschiedlichen Wissensstand auszugleichen und sicherzustellen, dass Schüler genau informiert werden.
83. (Havas and Marrongelle 2013), S. 253: [Studie wurde zurückgezogen]
 84. (He, Liu et al. 2014), S. 49: Diese Studie weist darauf hin, dass Curcumin die verminderte MFG-E8-Expression und die abgeschwächte phagozytische Fähigkeit der EMF-exponierten N9-Zellen verbessert, was auf die Hemmung der proinflammatorischen Reaktion über die NF- κ B- und STAT3-Signalwege zurückzuführen ist.
 85. (Hirose, Sasaki et al. 2010), S. 104: Diese Erkenntnisse deuten darauf hin, dass die Exposition gegenüber HF-Feldern bis zu 2 W/kg Mikrogliazellen in vitro nicht aktiviert.
 86. (Hong, Kim et al. 2012), p: 604: Diese Ergebnisse zeigen, dass eine einzelne oder mehrfache Exposition gegenüber HF-Strahlung unter unseren Expositionsbedingungen bei MCF10A-Zellen keinen oxidativen Stress auslöste.
 87. (Hou, Wang et al. 2015), S. 85: Unsere Ergebnisse zeigten einen signifikanten Anstieg der Werte intrazellulärer reaktiver Sauerstoffspezies (Reactive Oxygen Species – ROS) nach der EMR-Exposition. Dieser erreichte den höchsten Wert bei einer Expositionsdauer von 1 h (p50,05), gefolgt von einem leichten Rückgang, wenn die Exposition bis zu 8 h andauerte. Nach der EMR-Exposition wurde keine signifikante Wirkung auf die Anzahl der gH2AX festgestellt. Der Prozentanteil der spätapoptotischen Zellen in der EMR-exponierten Gruppe war signifikant höher als der in den scheinexponierten Gruppen (p50,05). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine 1800-MHz-EMR die ROS-Bildung verstärkt und die Apoptose in NIH/3T3-Zellen fördert.
 88. (88) (Hsu, Syed-Abdul et al. 2013), S. 596: Zusammenfassend lässt sich sagen, dass wir keine Korrelation zwischen der Morbidität/Mortalität bösartiger Hirntumoren und der Mobiltelefonnutzung in Taiwan feststellen können. Wir fordern daher internationale Behörden auf, nur bestätigende Berichte mit für die Öffentlichkeit zutreffenderen Schlussfolgerungen zu veröffentlichen. Dies wird dazu beitragen, der Öffentlichkeit unnötige Sorgen zu ersparen.
 89. (Ikeda and Nakamura 2014), S. 187: Eine erhöhte Dauer der Mobiltelefonnutzung wird mit einer ungünstigen psychischen Stimmung in Zusammenhang gebracht, insbesondere mit einer depressiven Stimmung. Eine Abnahme der Nutzung von Mobiltelefonen kann dazu beitragen, eine angemessene psychische Gesundheit bei Nutzern mit sehr langer Nutzungsdauer zu erhalten.
 90. (Imai, Kawabe et al. 2011), S. 204: Die Anzahl der Spermien im Hoden und Nebenhoden war in den gegenüber elektromagnetischen Feldern (EMF) exponierten Gruppen nicht vermindert, und tatsächlich war die Anzahl der Spermien im Hoden bei einem SAR-Wert von 0,4 signifikant erhöht. Anomalien der Spermienmotilität oder -morphologie und das histologische Erscheinungsbild der Samenkanälchen, einschließlich des Stadiums des

spermatogenetischen Zyklus, wurden nicht beobachtet. Somit war unter den gegenwärtigen Expositionsbedingungen keine testikuläre Toxizität erkennbar.

91. (Imge, Kilicoglu et al. 2010), S. 1044: Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass Vitamin C eine schützende Rolle gegen schädliche Auswirkungen von Mobilfunkstrahlung im Hirngewebe spielen könnte.
92. (Inskip, Hoover et al. 2010): Bei Schläfen- oder Scheitellappenkrebs oder bei Krebserkrankungen des Kleinhirns, die die Teile des Gehirns betreffen, die bei hochfrequenter Strahlung von Mobiltelefonen stärker exponiert werden würden, war keine Zunahme erkennbar. Die Raten für Frontallappenkrebs stiegen auch bei den 20- bis 29-jährigen Männern an, doch der Anstieg begann früher als bei den Frauen und bevor der Gebrauch von Mobiltelefonen sehr verbreitet war. Insgesamt stützen diese Inzidenzdaten nicht die Ansicht, dass die Nutzung von Mobiltelefonen Gehirnkrebs verursacht.
93. (Jelodar, Akbari et al. 2013): Es kann der Schluss gezogen werden, dass Radiofrequenzwellen oxidativen Stress in den Augen verursachen und dass Vitamin C die Aktivität der antioxidativen Enzyme verbessert und den MDA-Wert (Malondialdehyde) verringert.
94. (Jeong, Kang et al. 2015), S. 481: Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine chronische HF-EMF-Exposition die A β -Pathologie bei Alzheimer-Krankheit (AD) direkt beeinflusst, aber nicht im normalen Gehirn. Daher haben HF-EMF präventive Effekte gegen eine Pathologie ähnlich der AD bei fortgeschrittenen Alzheimer-Mäusen mit einer hohen Expression von A β , was darauf hindeutet, dass HF-EMF einen günstigen Einfluss auf die Alzheimer-Krankheit haben können.
95. (Jiang, Nie et al. 2012), S. e32040: Die Daten deuteten also darauf hin, dass eine HF-Vorexposition in der Lage ist, eine adaptive Reaktion (Adaptive response – AR) zu induzieren, und legten nahe, dass eine Vorexposition von mehr als 4 Stunden über 1 Tag notwendig ist, um eine solche AR hervorzurufen.
96. (Jiang, Zong et al. 2013), S. 127: Die Ergebnisse deuteten also darauf hin, dass eine Vorexposition von Mäusen gegenüber nichtionisierender HF in der Lage ist, die Erythrozyten in Blut und Knochenmark vor genotoxischen Effekten einer nachfolgenden γ -Bestrahlung zu »schützen«. Ein solches Schutzphänomen wird allgemein als »adaptive Reaktion« (AR) beschrieben und ist bei menschlichen und tierischen Zellen, die gegenüber sehr niedrigen Dosen ionisierender Strahlung vorexponiert wurden, gut dokumentiert. Es ist interessant zu beobachten, dass eine AR durch nichtionisierende HF induziert wird.
97. (Jin, Choi et al. 2013), S. 430: Mithilfe der ELISA-Methode wurde ermittelt, dass eine 8-wöchige gleichzeitige CDMA- und WCDMA-HF-Exposition keinen Einfluss auf die Serumspiegel von Melatonin, schilddrüsenstimulierendem Hormon (TSH), Trijodthyronin (T3) und Thyroxin (T4),



- adrenocorticotropem Hormon (ACTH) und Sexualhormonen (Testosteron und Östrogen) bei Ratten hatte.
98. (Jin, Zong et al. 2012), S. e46102: So scheint die HF-Vorexposition die HL-60-Zellen vor den toxischen Auswirkungen einer nachfolgenden Behandlung mit DOX zu schützen. Diese Beobachtungen ähnelten unseren früheren Daten, die darauf hindeuteten, dass die Vorexposition von Mäusen gegenüber 900-MHz-HF bei einer Leistungsdichte von 120 mW/cm² für 1 Stunde/Tag über 14 Tage eine schützende Wirkung bei hämatopoetischen Gewebeschäden hatte, die durch nachfolgende Gammabestrahlung induziert wurden.
 99. (Jurewicz, Radwan et al. 2014), S.43: Diese Erkenntnisse können wichtige Auswirkungen auf die Spermienqualität und den Lebensstil haben.
 100. (Kang, Lee et al. 2014), S.265: Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass weder die kombinierte HF-Strahlung allein noch die kombinierte HF-Strahlung mit Menadion oder H₂O₂ den intrazellulären ROS-Wert in neuronalen Zellen wie U87, PC12 oder SH-SY5Y beeinflusst.
 101. (Kato and Johansson 2012), S.95: Wir führten eine Fragebogenerhebung unter Personen mit Elektrosensibilität (Electrohypersensitivity – EHS) in Japan durch. [...] Der plausibelste Auslöser für das Einsetzen der EHS war eine Mobilfunkbasisstation oder ein persönliches Mobiltelefonsystem (37%). 65 % hatten gesundheitliche Probleme, die auf die Strahlung von Mobiltelefonen anderer Fahrgäste in Zügen oder Bussen zurückzuführen waren, und 12 % gaben an, dass sie überhaupt keine öffentlichen Verkehrsmittel benutzen konnten. 53 % hatten vor Beginn (der Beschwerden, Anm. d. Übers.) eine Arbeitsstelle, doch die meisten hatten ihre Arbeit verloren und/oder einen Einkommensrückgang zu verzeichnen. Darüber hinaus mussten 85,3 % Maßnahmen ergreifen, um sich vor EMF zu schützen [...].
 102. (Kayabasoglu, Sezen et al. 2011), S.348: Die Exposition gegenüber dem elektromagnetischen Feld, das von Mobiltelefonen ausgesendet wird, für 6 Stunden pro Tag an 30 aufeinanderfolgenden Tagen, hatte keine Wirkung auf das Gehör von neugeborenen oder adulten Ratten im Hinblick auf das äußere Ohr, das Mittelohr oder die Cochlea.
 103. (Kazemi, Mortazavi et al. 2015), S.105: Die in dieser Studie erzielten Ergebnisse zeigten eindeutig die Fähigkeit zur Induktion von oxidativem Stress eines hochfrequenten elektromagnetischen Feldes in dem Teil der PBMC, der hauptsächlich in Monozyten vorkommt, wie im Fall der Exposition gegenüber Mikroorganismen, obwohl die Vor- oder Nachteile dieser Wirkung beurteilt werden sollten.
 104. (Kesari and Behari 2010): Wir kommen zu dem Schluss, dass diese Strahlungen einen signifikanten Einfluss auf das Fortpflanzungssystem männlicher Ratten haben können, was ein Hinweis auf männliche Unfruchtbarkeit sein kann.

105. (Kesari and Behari 2012): Unsere Ergebnisse zu diesen Biomarkern sind klare Hinweise auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen einer wiederholten Exposition gegenüber Mobilfunkstrahlung.
106. (Kesari, Kumar et al. 2010): Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Verminderung der Proteinkinase-Aktivität mit der Überproduktion reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) bei der Exposition gegenüber Mikrowellenfeldern zusammenhängen könnte. Eine Abnahme der Spermienzahl und eine Zunahme der Apoptose können ursächliche Faktoren sein, die auf eine Exposition gegenüber Mobilfunkstrahlung zurückzuführen sind, die zu Unfruchtbarkeit führt.
107. (Kesari, Kumar et al. 2011): Die Studie kommt zu dem Schluss, dass eine Verminderung oder ein Anstieg antioxidativer Enzymaktivitäten, Proteinkinase C, Melatonin, Caspase 3 und Creatinkinase mit der Überproduktion reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) bei Tieren unter Mobilfunkstrahlungsexposition zusammenhängt. Unsere Ergebnisse zu diesen Biomarkern sind klare Hinweise auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen.
108. (Kesari, Kumar et al. 2011): Unsere Befunde zu Antioxidantien, Malondialdehyd, Histonkinase, Mikronuklei und Samenzellzyklus sind klare Hinweise auf ein Infertilitätsmuster, das durch eine Überproduktion reaktiver Sauerstoffspezies ausgelöst wurde. Es wird die Schlussfolgerung gezogen, dass hochfrequente elektromagnetische Wellen von kommerziell erhältlichen Mobiltelefonen das Befruchtungspotenzial von Spermien beeinflussen könnten.
109. (Kesari, Kumar et al. 2012): Die Studie kommt zu dem Schluss, dass eine Verminderung von Melatonin oder ein Anstieg von Caspase-3, Creatinkinase und Kalziumionen aufgrund der chronischen Exposition gegenüber diesen Strahlungen signifikante Schäden im Gehirn verursachen kann. Diese Biomarker weisen eindeutig auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen einer solchen Exposition hin.
110. (Khalil, Gagaa et al. 2012), S. 734: Mit Ausnahme des Urins, der in der letzten halben Stunde der Exposition gesammelt wurde, wurden im Vergleich zu den Kontrolltieren signifikante Erhöhungen der 8-OxodG-Werte in Urinproben von Ratten festgestellt, die Hochfrequenzstrahlung ausgesetzt waren. Insgesamt wurden signifikante Unterschiede über die Zeitpunkte der Urinsammlung hinweg mit einem Maximum bei 1 Stunde nach der Exposition festgestellt, was auf eine Reparatur der DNA-Läsionen hindeutet, die zur Bildung von 8-OxodG führen.
111. (Kheifets, Monroe et al. 2008), S. 677: Das Fehlen eines klaren Musters von EMF-Exposition stützt nicht die Hypothese, dass diese Expositionen für das beobachtete erhöhte Risiko verantwortlich sind. Die Ergebnisse waren unanfällig gegenüber Annahmen, einflussreichen Studien,



- Gewichtungsschemata, Publikationsverzerrungen, Studiencharakteristika oder Finanzierungsquellen.
112. (Khirazova, Baizhumanov et al. 2012), S.816: Diese Ergebnisse zeigten eine signifikante Wirkung der Strahlung im GSM-Bereich auf das Verhalten und die Aktivität der stressrealisierenden und stressbegrenzenden Systeme des Körpers.
 113. (Kim, Han et al. 2012), S.176: Das Fehlen einer statistisch signifikanten Veränderung bei den HSP27- und ERK1/2-Phosphorylierungen deutet darauf hin, dass eine alleinige oder kombinierte HF-Strahlenexposition keine Aktivierung von HSP27 und ERK1/2 in MCF10A-Zellen auslöste.
 114. (Kokturk, Yardimoglu et al. 2013), S.52: Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass die Apoptose und die Neurodegeneration bei Ratten, die während der prä- und postnatalen Zeiträume EMF ausgesetzt waren, mittels der Lycopersicon-esculentum-Extrakt-Therapie reduziert werden könnten.
 115. (Kumar, Behari et al. 2012), S.223: Diese Ergebnisse sind Hinweise auf schädliche Auswirkungen dieser Strahlungen auf das Fortpflanzungsmuster männlicher Ratten.
 116. (Kumar, Murarka et al. 2014), S.29: Diese Befunde deuteten darauf hin, dass verschiedene Faktoren des Lebensstils wie das Rauchen und Kauen von Tabak, Alkoholkonsum sowie die Exposition gegenüber toxischen Substanzen auf das Risiko einer abnehmenden Spermienqualität sowie einer Zunahme des oxidativen Stresses und der DNA-Schädigung der Spermien zurückzuführen sein könnten.
 117. (Kwon, Vorobyev et al. 2011), S.2293: Die Exposition hatte keinen Einfluss auf die Ausführung von Aufgaben (Reaktionszeit, Fehlerquote). Unsere Ergebnisse zeigen, dass kurzzeitige Mobiltelefonexposition den Energiestoffwechsel im menschlichen Gehirn lokal unterdrücken kann.
 118. (Kwon and Härmäläinen 2011): [review]
 119. (Levis, Minicuci et al. 2011): [Meta-Analyse (einzelne Studien nicht nach Qualitätskriterien ausgewählt; einige der Studien gelten als nicht verzerrungsfrei)]
 120. (120) (Lukac, Massanyi et al. 2011), S.1532: Im Allgemeinen deuten die Ergebnisse dieses Experiments auf eine negative zeitabhängige Wirkung einer HF-EMW-Strahlung mit 1800 MHz auf die Motilität von Rinderspermatozoen hin.
 121. (Liu, Wen et al. 2011), S.270: Unsere Ergebnisse deuteten auf eine neuroprotektive Wirkung von Polyphenolen aus grünem Tee gegenüber einer durch Mobilfunk-Befeldung induzierten Verletzung in kultivierten kortikalen Neuronen der Ratte hin.
 122. (Lee, Lee et al. 2009), S.648: Auf Grundlage der Ergebnisse berichten wir zum ersten Mal, dass die gleichzeitige experimentelle Exposition gegenüber

- CDMA- und WCDMA-HF-EMF keine beobachtbaren schädlichen Wirkungen auf Mausföten verursachte.
123. (Lee, Jin et al. 2011), S.485: Aus den Ergebnissen schlossen wir, dass die gleichzeitige Exposition gegenüber CDMA- und WCDMA-HF-EMF die Lymphomentwicklung bei AKR/J-Mäusen nicht beeinflusste.
 124. (Lee, Kim et al. 2011), S.169: Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass weder alleinige noch kombinierte HF-Strahlung die Zellzyklusprogression beeinflusst.
 125. (Lee, Kim et al. 2014), S.1902: Wir konnten keine schädlichen Auswirkungen elektromagnetischer Wi-Fi-Signale von Smartphones feststellen. Die erhöhte Proliferation von aus Fettgewebe stammenden Stammzellen (adipose-derived stem cells, ASCs) unter dem Einfluss des Smartphones könnte jedoch auf den thermischen Effekt zurückzuführen sein.
 126. (Leung, Croft et al. 2011), S.2203: Unter Verwendung von Aufgaben, die auf das Fähigkeitsniveau jedes Einzelnen zugeschnitten sind, stützt diese Studie eine Wirkung akuter 2G- und 3G-Exposition auf die kognitiven Funktionen des Menschen. Bedeutung: Die Subtilität des Einflusses von Mobiltelefonen auf die Kognition in unserer Studie legt nahe, dass es wichtig ist, individuelle Unterschiede in der zukünftigen Mobilfunkforschung zu berücksichtigen.
 127. (Li, Liu et al. 2012), S.435 and 472: Eine über dem Median liegende durchschnittliche Leistungsdichte pro Jahr (APD, ca. 168 Wa/km²) war bei allen Neoplasien (1,13; 1,01 bis 1,28) signifikant mit einem erhöhten bereinigten Chancenverhältnis (Adjusted Odds Ratio – AOR) assoziiert, nicht jedoch bei Leukämie (1,23; 0,99 bis 1,52) oder Hirnneoplasmen (1,14; 0,83 bis 1,55). In dieser Studie wurde ein signifikant erhöhtes Risiko für alle Neoplasmen bei Kindern mit einer über dem Median liegenden HF-Exposition durch Mobilfunk-Basisstationen (MPBS) festgestellt. Es zeigte sich ein leicht erhöhtes Risiko für Leukämie und Hirnneoplasmen, das jedoch statistisch nicht signifikant war. Diese Ergebnisse können aufgrund verschiedener methodischer Einschränkungen auftreten.
 128. (Li, Li et al. 2014), S.506: Mikrowellenstrahlung (MR) induzierte eine Schädigung markierter MMECs (myocardial microvascular endothelial cells), die sich in einer erhöhten LDH-Leckage- und Apoptoserate sowie einer verminderten Zellviabilität zeigte. MR induzierte außerdem exzessiven Stress des endoplasmatischen Retikulums (ER), der durch eine erhöhte Expression von GRP78 und CRT gekennzeichnet ist, sowie auch eine mit dem ER-Stress verbundene apoptotische Signalübertragung, wie durch die Hochregulierung von CHOP und Bax sowie die Herunterregulierung von Bcl-2 ersichtlich. Eine exogene Vorbehandlung mit Calreticulin (CRT) dämpfte die MR-induzierte Zellapoptose und LDH-Leckage, den Stress des ER sowie die Aktivierung der mit dem ER-Stress verbundenen



apoptotischen Signalübertragung auf bemerkenswerte Weise. Schlussfolgerungen: Das exogene CRT dämpft die MR-induzierte ER-Stress-assoziierte Apoptose durch Unterdrückung der CHOP-vermittelten apoptotischen Signalwege in den MMECs.

129. (Lilienfeld, Tonascia et al. 1978) [Interner Bericht]
130. (Little, Rajaraman et al. 2012), S. e1147: Erhöhte Risiken für Gliome durch Mobiltelefonnutzung, wie in einer (schwedischen) Studie berichtet, die die Grundlage für die Neubewertung der Mobiltelefonexposition durch das Internationale Krebsforschungszentrum (IARC) bildet, stimmen nicht mit den beobachteten Inzidenz-Trends in den US-Bevölkerungsdaten überein, obwohl die US-Daten mit den geringen erhöhten Risiken in der Interphone-Studie übereinstimmen könnten.
131. (Liu, Tai et al. 2012), S. e42332: Daher implizierten unsere Ergebnisse, dass die Exposition gegenüber der EMF von 1950-MHz-TD-SCDMA die Tumorbildung möglicherweise nicht fördert, doch die kontinuierliche Exposition schädigte die Mitochondrien der Astrozyten und induzierte die Apoptose über einen Caspase-3-abhängigen Weg unter Beteiligung von Bax und Bcl-2.
132. (Liu, Duan et al. 2013), S. 2: Zusammengekommen könnten diese Ergebnisse die neuartige Möglichkeit implizieren, dass HF-EMR mit unzureichender Energie für die direkte Induktion von DNA-Strangbrüchen eine Genotoxizität durch oxidative DNA-Basenschädigung in männlichen Keimzellen erzeugen kann.
133. (Liu, Chen et al. 2014), S. e110825: Die Ergebnisse zeigten, dass die tägliche berufliche EMF-Exposition positiv mit schlechter Schlafqualität assoziiert war. Es impliziert, dass die EMF-Exposition eher die menschliche Schlafqualität als die Schlafdauer beeinträchtigen kann.
134. (Liu, Li et al. 2014): [Review]
135. (Liu, Zhang et al. 2014), S. 216: Diese Ergebnisse legten nahe, dass der Autophagiefluss durch eine 1800-MHz-GSM-Exposition (4 W/kg) verstärkt werden könnte, was durch die Erzeugung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) vermittelt wird. Autophagie kann eine wichtige Rolle bei der Verhinderung des apoptotischen Zelltods von Zellen unter HF-Expositionsstress spielen.
136. (Loughran, McKenzie et al. 2012), S. 86: Diese Ergebnisse bestätigen frühere Erkenntnisse von mobiltelefonähnlichen Emissionen, die das EEG während des Non-REM-Schlafs beeinflussen. Wichtig ist, dass sich dieser Effekt auf niedriger Ebene auch als anfällig gegenüber individueller Variabilität erwies. Darüber hinaus deutet dies darauf hin, dass frühere negative Ergebnisse kein eindeutiger Beweis für das Ausbleiben eines Effekts sind, und angesichts der weitreichenden Auswirkungen der Mobilfunkforschung müssen wir möglicherweise die Interpretation der Ergebnisse und die Art

und Weise, in der die Forschung in diesem Bereich durchgeführt wird, überdenken.

137. (Lu, He et al. 2014), S. e108318: Unsere Ergebnisse zeigten, dass die HF-Exposition proinflammatorische Reaktionen in Mikroglia und Astrozyten unterschiedlich induzierte, was mit einer unterschiedlichen Aktivierung von STAT3 in Mikroglia und Astrozyten einherging. Unsere Daten liefern neue Einsichten in die potenziellen Mechanismen der berichteten Auswirkungen auf das zentrale Nervensystem (ZNS) im Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen und präsentieren STAT3 als ein vielversprechendes Ziel zum Schutz des Menschen vor zunehmender HF-Exposition.
138. (Luria, Eliyahu et al. 2009), S. 198: Diese Ergebnisse bestätigten das Vorhandensein einer Wirkung der Exposition auf die Reaktionszeiten (response times, RT) sowie die Tatsache, dass die Expositions-dauer (zusammen mit der reagierenden Hand und der Expositionsseite) eine wichtige Rolle bei der Erzeugung nachweisbarer Effekte der Hochfrequenzstrahlung (RFR) auf die Leistung spielen kann. Unterschiede in diesen Parametern könnten der Grund für das Versagen bestimmter Studien sein, Effekte von Hochfrequenzstrahlung (RFR) zu erfassen oder zu replizieren.
139. (Lv, Chen et al. 2014), S. 277: Die Studie lieferte den Nachweis, dass eine 30-minütige LTE-HF-EMF-Exposition die spontanen niederfrequenten Fluktuationen in einigen Hirnregionen moduliert. Bedeutung: Bei der fMRT im Ruhezustand fanden wir eine Veränderung der spontanen niederfrequenten Fluktuationen, die durch die akute LTE-HF-EMF-Exposition induziert wurde.
140. (Mahmoudabadi, Ziaei et al. 2015), S. 34: Alle Daten bezüglich der Mobiltelefone waren zwischen den beiden Gruppen unterschiedlich, mit Ausnahme der Nutzung von Freisprecheinrichtungen ($p < 0,001$). Schlussfolgerung: Unser Ergebnis legt nahe, dass die Nutzung von Mobiltelefonen mit den frühen Spontanaborten in Verbindung gebracht werden kann.
141. (Malek, Rani et al. 2015), S. 13206: Im Allgemeinen gibt es in beiden Gruppen keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Exposition und Scheinexposition in Bezug auf kognitive Leistungen und physiologische Auswirkungen.
142. (Maskey, Kim et al. 2010), S. 232: Unterschiede bei Calcium-bindenden Proteinen (CaBP) könnten Veränderungen der zellulären Ca^{2+} -Spiegel verursachen, die sich nachteilig auf die normalen Funktionen des Hippocampus auswirken könnten, die mit der neuronalen Konnektivität und Integration zu tun haben.
143. (Maskey, Pradhan et al. 2010), S. 237: Eine chronische HF-Exposition des Rattenhirns deutete darauf hin, dass die Verminderung der CB-IR (calcium bindende Proteinimmunreaktivität), die mit der Apoptose einhergeht, und die Erhöhung der GFAP-IR (Saures Gliafaser-Proteinimmunreaktivität)



- morphologische Parameter hinsichtlich der Schädigungen des Hippocampus sein könnten.
144. (Maskey, Kim et al. 2012), S.292: Eine Verminderung der Immunreaktivität (IR) des calciumbindenden Proteins (CaBP) kann das Calciumpufferungsvermögen beeinflussen und zum Zelltod führen, während eine erhöhte saure Gliafaserproteinimmunreaktivität (Glial Fibrillary Acidic Protein – GFAP-IR) und Veränderungen der Astrozytenmorphologie eine Hirnschädigung durch Hochfrequenzexposition vermitteln können.
 145. (Maskey, Kim et al. 2014), S.409: Die vorliegende Studie legt nahe, dass der Bereich des auditorischen Hirnstamms für eine chronische Exposition gegenüber HF-Strahlung anfällig ist, was die Funktion des zentralen Hörsystems beeinträchtigen kann.
 146. (Masuda, Ushiyama et al. 2009), S.66: Das Ziel dieser Studie war es, zu bestimmen, ob 14 und 50 Tage nach einer einfachen 2-stündigen Exposition gegenüber einem elektromagnetischen Feld von 915 MHz ein Durchsickern von Albumin und dunkle Neuronen im Gehirn von Ratten vorhanden waren, wie von Salford et al. berichtet (Environ. Health Perspect. 111, 881-883, 203). [...] Diese Studie konnte somit die Ergebnisse von Salford et al. nicht bestätigen.
 147. (Masuda, Hirota et al. 2015), S.351: Diese Befunde deuten darauf hin, dass in keinem dieser Entwicklungsstadien dynamische Veränderungen in der Permeabilität der BHS der Ratten auftraten, auch nicht während einer lokalen HF-Exposition bei nichtthermischen Werten.
 148. (Masuda, Hirota et al. 2015), S.561: Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass HF wahrscheinlich keine Entzündungsreaktionen auslöst, zumindest nicht unter diesen Expositionsbedingungen.
 149. (McCarty, Carrubba et al. 2011), S.670: In einem doppelt verblindeten EMF-Provokationsverfahren, das speziell zur Minimierung unbeabsichtigter sensorischer Signale entwickelt wurde, zeigten sich bei der Versuchsperson innerhalb von 100 s nach Beginn der EMF-Exposition ($p < 0,05$) temporale Schmerzen, Kopfschmerzen, Muskelzuckungen und Herzstolpern. Die Symptome wurden in erster Linie durch Feldübergänge (off-on, on-off) und nicht durch das Vorhandensein des Feldes verursacht [...] Die Versuchsperson nahm das Feld nicht bewusst wahr, da sie nicht in der Lage war, öfter als bei der Scheinkontrolle über dessen Vorhandensein zu berichten. Diskussion: Die Versuchsperson zeigte statistisch zuverlässige somatische Reaktionen als Antwort auf die Exposition gegenüber unterschwelligen EMF unter Bedingungen, die eine ursächliche Rolle für psychologische Prozesse vernünftigerweise ausschließen.
 150. (McNamee and Chauhan 2009), S.265: Die zunehmende Anwendung von Hochdurchsatzverfahren zur Untersuchung möglicher durch HF-Strahlung induzierter Bioeffekte kann dazu beitragen, diese Diskrepanzen aufzulösen.

Dies gelingt aber nur, wenn solche Studien mit einem soliden experimentellen Design und einer rigorosen statistischen Analyse durchgeführt werden.

151. (McQuade, Merritt et al. 2009), S.615: Die Albumin-Immunhistochemie wurde an perfundierten Hirngewebeschnitten durchgeführt, um die Integrität der Blut-Hirn-Schranke (Blood-brain Barrier – BHS) zu bestimmen. Der Chi-Quadrat-Test zeigte bei keinem der exponierten Tiere eine signifikante Erhöhung der Albumin-Extravasation im Vergleich zu den scheinexponierten Tieren oder den Käfigkontrolltieren.
152. (Megha, Deshmukh et al. 2012), S.889: Die Ergebnisse der vorliegenden Studie deuteten darauf hin, dass ein erhöhter oxidativer Stress durch Mikrowellenexposition zu kognitiven Beeinträchtigungen und Entzündungen im Gehirn beitragen kann.
153. (Meg Tseng, Lin et al. 2011), S.634: Die Prävalenz selbstberichteter Sensibilität gegenüber elektromagnetischen Feldern (Self-reported Electromagnetic Field Sensitivity – SREMFS) in der Allgemeinbevölkerung Taiwans ist höher als die, die in westlichen Ländern gemeldet wird. Menschen mit psychiatrischer Morbidität berichten häufiger über eine Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern. Das Querschnittsdesign schließt die kausale Inferenz aller identifizierten Korrelate und eine Empfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern aus.
154. (Meo and Al Rubeaan 2013), S.235: Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen einen Zusammenhang zwischen der Langzeitexposition gegenüber aktivierten Mobiltelefonen und dem Anstieg des Nüchternblutzuckers und des Seruminsulins bei Albino-Ratten.
155. (Meral, Tekintangac et al. 2014), S.164: Es wurde festgestellt, dass eine EMF-Exposition von 12 h pro Tag über 30 Tage keine signifikanten Auswirkungen auf die Elektrokardiogramm-Befunde von Meerschweinchen hatte. Diese Frage musste jedoch unter verschiedenen Gesichtspunkten, wie z.B. einer längeren Expositionsdauer, weiter untersucht werden, um die Auswirkungen der durch Mobiltelefone induzierten EMF auf die Herz-Kreislauf-Funktionen klären zu können.
156. (Merhi 2012), S.293: Die zunehmende Nutzung von Mobiltelefonen rechtfertigt gut konzipierte Studien, um die Auswirkungen ihrer HF-EMR auf die Fortpflanzung zu ermitteln.
157. (Milham and Stetzer 2013): Neurotransmitter können Biomarker für schmutzige Elektrizität und andere Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern sein. Wir glauben, dass schmutzige Elektrizität ein chronischer Stressfaktor für die elektrifizierte Bevölkerung und für viele ihrer Krankheitsbilder verantwortlich ist.
158. (Moon, Kim et al. 2014), S.581: Wir fanden heraus, dass Tumore mit dem häufiger für Mobiltelefone benutzten Ohr und dem Tumolvolumen



- übereinstimmen können, die eine starke Korrelation mit der Menge der Mobiltelefonnutzung zeigten. Daher besteht die Möglichkeit, dass die Nutzung von Mobiltelefonen das Tumorwachstum beeinflussen kann.
159. (Mornet, Kania et al. 2013): Die Methoden zur Bewertung der Exposition waren umstritten, und es fehlte eine langfristige Bewertung. Eine laufende prospektive Studie sollte jegliche größere Wirkung elektromagnetischer Felder bestimmen. Da Schwannome eine seltene Pathologie darstellen, wird es schwierig sein, das Fehlen einer Assoziation nachzuweisen. Es konnte keine klinische Assoziation zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen bzw. Schnurlostelefonen und dem vestibulären Schwannom nachgewiesen werden. Bestehende Studien sind durch ihre rückblickende Bewertung der Exposition begrenzt.
 160. (Mortazavi, Mahbudi et al. 2011), S. 435: Es wurden keine statistisch signifikanten Veränderungen zwischen den Mittelwerten dieser Parameter bei realer Exposition/Scheinexposition beobachtet. Unsere Ergebnisse bestätigen eindeutig die in anderen Provokationsstudien erzielten Ergebnisse. Diese Daten weisen auch auf die mögliche Rolle psychologischer Faktoren bei elektromagnetischer Hypersensibilität hin.
 161. (Mortazavi, Rouintan et al. 2012), S. 171: Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass diese Expositionen eine verkürzte Reaktionszeit verursachen, was zu einer besseren Reaktion auf verschiedene Gefahren führen kann. Vor diesem Hintergrund könnte dieses Phänomen die Wahrscheinlichkeit menschlicher Fehler und tödlicher Unfälle verringern.
 162. (Mortazavi, Vazife-Doost et al. 2012), S. 60: Da einige Studien gezeigt haben, dass die Exposition gegenüber EMF keinen Einfluss auf den Cortisolspiegel hat, während andere Studien entweder einen Anstieg oder eine Abnahme des Cortisolspiegels berichteten, kann der Schluss gezogen werden, dass die Auswirkungen der Exposition gegenüber EMF nur bei bestimmten absorbierten Energien oder Energieabsorptionsraten (gewöhnlich als Fenster bezeichnet) auftreten können, ähnlich wie bei der Exposition gegenüber niedrigen Dosen ionisierender Strahlung.
 163. (Mortazavi, Rahimi et al. 2015), S. 121: Diese Ergebnisse stützen frühe Berichte, die auf eine Vielzahl nichtthermischer Wirkungen elektromagnetischer Strahlung auf Amphibien hinwiesen, einschließlich der Auswirkungen auf das Muster von Muskelextraktionen.
 164. (Mortazavi, Shirazi et al. 2013), S. 213: Die Ergebnisse dieser Studie lassen Zweifel an früheren Berichten aufkommen, die darauf hinwiesen, dass die Exposition gegenüber ionisierender Strahlung während der Schwangerschaft das Risiko für ein niedriges Geburtsgewicht erhöhte.
 165. (Motawi, Darwish et al. 2014), S. 845: Die Studie hebt die schädlichen Auswirkungen der Strahlung von Mobiltelefonen auf das Gehirn in jungen und adulten Altersgruppen hervor. Die Interaktion dieser Strahlungen mit dem

- Gehirn erfolgt über die Dissipation seines antioxidativen Status und/oder das Auslösen des apoptotischen Zelltods.
166. (Movvahedi, Tavakkoli-Golpayegani et al. 2014), S.121: Nach unserem besten Wissen ist dies die erste Studie, die zeigt, dass eine kurzzeitige Exposition von Grundschulern gegenüber HF-Strahlung zu einer besseren Leistung ihres Kurzzeitgedächtnisses führt.
 167. (Munezawa, Kaneita et al. 2011), S. 1013: Diese Studie zeigte, dass die Nutzung von Mobiltelefonen zum Telefonieren und zum Senden von Textnachrichten nach dem Ausschalten des Lichts bei japanischen Jugendlichen mit Schlafstörungen in Verbindung gebracht wird. Allerdings gab es in dieser Studie einige Einschränkungen, wie z. B. kleine Effektgrößen. Weitere Studien, die die Details dieses Zusammenhangs untersuchen, sind notwendig, um Strategien für die künftige Schlafhygiene festzulegen.
 168. (Nam, Lee et al. 2009), S. 641: Abschließend lässt sich sagen, dass die HF-Exposition in beiden Gruppen keine Auswirkungen auf physiologische Parameter oder subjektive Symptome hatte. Hinsichtlich der Wahrnehmung elektromagnetischer Felder gab es keine Hinweise darauf, dass die elektro-sensible Gruppe EMF besser wahrnahm als die nichtelektrosensible Gruppe.
 169. (Nakatani-Enomoto, Furubayashi et al. 2013) S.589: Wir kommen zu dem Schluss, dass eine EMF-Exposition mit kontinuierlicher Welle (continuous wave, CW) für 3 h von einem W-CDMA-ähnlichen System keine nachweisbaren Auswirkungen auf den menschlichen Schlaf hat.
 170. (Narayanan, Kumar et al. 2009), S.231: Die Exposition durch Mobiltelefone beeinflusste die Akquisition erlernter Reaktionen bei Wistar-Ratten. Dies wiederum weist auf die schlechte räumliche Navigation und die Objekt-Standort-Konstellationen der den Mobiltelefonen ausgesetzten Tiere hin.
 171. (Narayanan, Kumar et al. 2010), S. 91: Die HF-EMR-Exposition durch Mobiltelefone veränderte signifikant das passive Vermeidungsverhalten und die Morphologie des Hippocampus bei Ratten.
 172. (Narayanan, Kumar et al. 2013), S.1117: Bei den HF-EMR-exponierten Ratten wurde im Vergleich zu den Kontrolltieren kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der gesamten zurückgelegten Strecke, der Gesamtzahl der Eintritte in einen Arm, dem Prozentsatz der Eintritte in einen geschlossenen Arm und dem Parallelitätsindex gefunden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Mobiltelefonstrahlung die Emotionalität von Ratten beeinflussen könnte, ohne die allgemeine Fortbewegung zu beeinträchtigen.
 173. (Narayanan, Kumar et al. 2015), S. 1193: Die HF-EMR-Exposition beeinflusste das dendritische Verzweigungsmuster sowohl der apikalen als auch der basalen dendritischen Bäume bei HF-EMR-exponierten Ratten.



Strukturelle Veränderungen, die im Hippocampus von HF-EMR-exponierten Ratten festgestellt wurden, könnten einer der möglichen Gründe für eine veränderte Kognition sein.

174. (Naziroglu, Ozkan et al. 2015), S. 83: Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass Apoptose, mitochondrialer, ROS- und Ca^{2+} -Einstrom über den TRPV1-Kanal in den Neuronen des Hippocampus durch Epilepsie-Induktion erhöht waren, obwohl das Mobiltelefon die Werte nicht veränderte. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass die TRPV1-Kanäle im Hippocampus möglicherweise ein neuartiges Ziel für eine wirksame Behandlung der Epilepsie darstellen könnten.
175. (Ni, Yu et al. 2013), S. e72370: Die Reactive-Oxygen-Species-(ROS, reaktive Sauerstoffspezies-) und Malondialdehyde-(MDA-)Werte waren in der HF-exponierten Gruppe signifikant erhöht ($P < 0,05$), und die zelluläre Lebensfähigkeit, die mRNA-Expression von vier Genen sowie die Expression von vier Proteinen waren im Vergleich zur gegenüber HF scheinexponierten Gruppe signifikant verringert ($P < 0,05$). Schlussfolgerungen: Oxidativer Stress ist in HLE B3-Zellen vorhanden, die gegenüber einer HF niedriger Intensität von 1,8 GHz exponiert wurden, und die erhöhte Produktion von ROS könnte mit der durch die HF-Exposition induzierten Herunterregulierung von vier Genen des antioxidativen Enzyms zusammenhängen.
176. (Ng, Lim et al. 2012) S. 176: Es gab offenbar keine signifikant schädlichen Auswirkungen der Nutzung digitaler Mobiltelefone auf die kognitiven Funktionen älterer Menschen. Die Ergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass die Nutzung digitaler Mobiltelefone eine unabhängige, fördernde Wirkung auf allgemeine und exekutive Funktionen haben kann.
177. (Noor, Mohammed et al. 2011), S. 729: Die Daten der vorliegenden Studie zeigten einen signifikanten Anstieg sowohl der exzitatorischen als auch der inhibitorischen Aminosäuren im Kleinhirn adulter und junger Ratten und im Mittelhirn adulter Tiere nach einer EMR-Exposition von 1 Stunde. Im Mittelhirn adulter Tiere gab es nach 1 Monat einen signifikanten Anstieg des Glycinspiegels, gefolgt von einem signifikanten Anstieg von Gamma-Aminobuttersäure (GABA) nach 4 Monaten. Junge Ratten zeigten eine signifikante Abnahme der exzitatorischen Aminosäuren im Mittelhirn. In der Medulla zeigten die Berechnungen des Gleichgewichtsverhältnisses in % (ER%) bei adulten Tieren nach 4 Monaten einen Zustand neurochemischer Inhibition, während bei jungen Tieren der neurochemische Inhibitionszustand nach einer Exposition über 1 Monat aufgrund einer signifikanten Abnahme der Glutamat- und Aspartatspiegel beobachtet wurde. Dieser Zustand wurde nach 4 Monaten aufgrund des Anstiegs des Glutamatspiegels in Erregung umgewandelt.

178. (Odaci and Ozyilmaz 2015), S. 547: Die Ergebnisse zeigen, dass die Exposition gegenüber 900-MHz-EMF Veränderungen in der Morphologie und Biochemie der Hoden adulter Ratten verursacht.
179. (Ohtani, Ushiyama et al. 2015), S. 467: Diese Daten geben keinen Hinweis auf schädliche Auswirkungen einer langfristigen HF-EMF-Exposition auf immunähnliche T-Zellpopulationen, die T-Zellaktivierung oder das Th1/Th2-Gleichgewicht in sich entwickelnden Ratten, obwohl signifikante transkriptionelle Effekte beobachtet wurden.
180. (Okano, Terao et al. 2010), S. 603: Nach EMF- oder Scheinexposition beobachteten wir eine leichte, aber signifikante Verkürzung der Latenz bei den CUED- und OL2-Aufgaben. Die Amplitude der Antisakkaden (AS) verringerte sich ebenso wie die Sakkadengeschwindigkeiten bei den AS-, CUED- und OL1-Aufgaben nach der Exposition. Diese Veränderungen traten unabhängig davon auf, ob es sich um eine tatsächliche oder aber eine Scheinexposition handelte. Die Häufigkeiten von Prosakkaden bei der AS-Aufgabe, Sakkaden auf einen Reiz (Cue) hin bei der CUED-Aufgabe und vorzeitig initiiert Sakkaden bei der Overlapaufgabe (OL2) zeigten nach der tatsächlichen oder Scheinexposition gegenüber EMF keine signifikante Veränderung. Schlussfolgerungen: Eine dreißigminütige Mobiltelefonexposition hat keine signifikante kurzfristige Wirkung auf die inhibitorische Kontrolle von Sakkaden. Bedeutung: Die kortikale Verarbeitung, die für die Inhibition von Sakkaden verantwortlich ist, wird durch die Exposition gegenüber den von Mobiltelefonen ausgesendeten EMF nicht beeinträchtigt.
181. (Otitoloju, Obe et al. 2010), S. 51: Die wichtigsten Anomalien, die beobachtet wurden, waren Spermienköpfe in Form eines verdickten Hakens, eines Stecknadelkopfes oder einer Banane. Das Auftreten der Spermienkopfanomalien wurde ebenfalls als dosisabhängig eingestuft.
182. (Ozgur, Guler et al. 2010), S. 935: Mobiltelefonähnliche Strahlung induziert oxidative Schäden und verändert die Aktivität antioxidativer Enzyme in der Leber. Die nachteilige Wirkung von Hochfrequenzstrahlung (RFR) kann mit der Dauer der Mobiltelefonnutzung zusammenhängen. NAC und EGCG schützen das Lebergewebe vor der RFR-induzierten oxidativen Schädigung und verstärken die antioxidativen Enzymaktivitäten.
183. (Ozgur, Guler et al. 2014), S. 983: Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Anwendungen von Hochfrequenzstrahlung (RFR) mit 900 und 1.800 MHz (2 W/kg) nach einer 4-stündigen Exposition zu einer Abnahme der Proliferation der Hep G2-Zellen führen.
184. (Ozgur, Tumkaya et al. 2015), S. 765: Die histopathologische und immunohistochemische Analyse zeigte Symptome neuronaler Degeneration, wie z.B. erhöhte Vakuolisierung im Nucleus cochlearis, pyknotisches Aussehen der Zellen und Ödeme bei der Gruppe, die gegenüber elektromagnetischen Feldern exponiert wurde, im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die



- durchschnittliche Latenz der Welle der auditorischen Hirnstammreaktion (auditory brainstem response, ABR) war in beiden Gruppen ähnlich ($p > 0,05$).
185. (Ozorak, Naziroglu et al. 2013), S.221: Es gab keine statistisch signifikanten Unterschiede in den Chrom-, Magnesium- und Mangankonzentrationen in den Nieren zwischen den vier Gruppen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Wi-Fi- und mobiltelefoninduzierte EMR oxidative Schäden verursachte, indem sie das Ausmaß der Lipidperoxidation und den Eisenspiegel erhöhte und gleichzeitig den Gesamt-Antioxidationszustand sowie die Kupfer- und GSH-Werte verringerte. Wi-Fi- und mobiltelefoninduzierte EMR kann eine verfrühte Pubertät (Pubertas praecox) und oxidative Nieren- und Hodenschäden bei Ging-Ratten verursachen.
 186. (Panda, Jain et al. 2010), S. 5: Bei keinem der audiologischen Parameter gab es einen signifikanten Unterschied zwischen den Nutzern (von Mobiltelefonen, Anm. d. Übers.) und der Kontrollgruppe. Bei den Nutzern wurden jedoch Tendenzen zu audiologischen Anomalien festgestellt. Hochfrequenzverlust und fehlende distorsiv produzierte otoakustische Emissionen wurden bei einer Zunahme der Dauer der Mobiltelefonnutzung, exzessivem Gebrauch von Mobiltelefonen und einem Alter von mehr als 30 Jahren beobachtet. Darüber hinaus zeigten Nutzer mit einigen Beschwerden während der Nutzung von Mobiltelefonen das Fehlen distorsiv produzierter otoakustischer Emissionen sowie Anomalien der auditorischen Hirnstammreaktion (ABR). Schlussfolgerung: Eine langfristige und intensive Nutzung von Mobiltelefonen kann zu Innenohrschäden führen. Für endgültige Schlussfolgerungen wäre eine große Stichprobengröße erforderlich.
 187. (Panda, Modi et al. 2011), S.581: Bei GSM- und CDMA-Nutzern wurde ein signifikant höheres Risiko für das Fehlen von distorsiv produzierten otoakustischen Emissionen (Distortion Product Otoacoustic Emissions – DPOAE) im Vergleich zu Kontrollen festgestellt ($P < 0,05$). Es wurde festgestellt, dass sie höhere Schwellenwerte der Sprachfrequenz sowie niedrigere Antworten mittlerer Latenz und Na- und Pa-Amplituden aufweisen. Eine Dauer der Mobiltelefonnutzung von mehr als 3 Jahren erwies sich als Risikofaktor ($P < 0,05$). Der verursachte Schaden war bilateral, wobei das Schadensausmaß für GSM und für CDMA gleich war. Schlussfolgerung: Eine langfristige und intensive Nutzung von GSM- und CDMA-Mobiltelefonen kann sowohl die Cochlea als auch den auditiven Cortex schädigen.
 188. (Paulraj and Behari 2011), S.191: Diese Ergebnisse zeigen, dass niedrige HF- oder MW-Werte Tumorwachstum und -entwicklung nicht verändern, was dadurch belegt wird, dass keine Veränderung der Tumorgöße zu beobachten war.

189. (Paulraj and Behari 2012), S. 97: Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass eine chronische Exposition von Ratten gegenüber Mikrowellenstrahlung die Aktivität bestimmter Enzyme verändert. Es gab einen signifikanten Anstieg des Calciumionen-Ausstroms und der Aktivität der Ornithindecaboxylase (Ornithine Decarboxylase – ODC). Auf der anderen Seite ist ein deutlicher Rückgang der Aktivität der Proteinkinase C (Calcium-dependent Protein Kinase – PKC) zu beobachten. Da diese Enzyme mit dem Wachstum zusammenhängen, kann jede Veränderung zu einer Beeinträchtigung der Funktion des Gehirns und seiner Entwicklung führen.
190. (Perentos, Croft et al. 2013), S. 1702: The results support the view that alpha is altered by RF electromagnetic fields, but suggest that the pulsing nature of the fields is not essential for this effect to occur.
191. (Peres 2010): [Kommentar zur Interphone-Studie]
192. (Pettersson, Mathiesen et al. 2014), S. 233: Die Ergebnisse stützen nicht die Hypothese, dass die langfristige Nutzung von Mobiltelefonen das Risiko eines Akustikusneurinoms erhöht. Die Studie deutet darauf hin, dass die Telefonnutzung die Wahrscheinlichkeit erhöhen könnte, dass ein Fall eines Akustikusneurinoms erkannt wird und dass es bei den in früheren Studien durchgeführten Lateralitätsanalysen zu Verzerrungen kommen konnte.
193. (Pettersson and Feychting 2014): [Antwort des Autors]
194. (Rafati, Rahimi et al. 2015), S. 133: Diese Ergebnisse stützen frühe Berichte, die auf eine Vielzahl nichtthermischer Wirkungen elektromagnetischer Strahlung auf Amphibien hinwiesen, einschließlich der Auswirkungen auf das Muster von Muskelextraktionen.
195. (Ragbetli, Aydinlioglu et al. 2010), S. 548: Es wurde ein signifikanter Rückgang der Anzahl der Purkinjezellen und eine Tendenz zur Vermehrung der Körnerzellen im Kleinhirn festgestellt. Schlussfolgerung: Aufgrund der weit verbreiteten Nutzung von Mobiltelefonen und der relativ hohen Exposition des sich entwickelnden Gehirns sind weitere Studien in diesem Bereich erforderlich.
196. (Ragbetli, Aydinlioglu et al. 2009), S. 1031: Es wurde kein signifikanter Unterschied in der Anzahl der Pyramidenzellen der gesamten Bereiche des Ammonshorns im Hippocampus zwischen der Kontrollgruppe und den mobiltelefonexponierten Gruppen festgestellt ($P > 0,05$). Man kam zu dem Schluss, dass aufgrund der weit verbreiteten Nutzung von Mobiltelefonen und der relativ hohen Exposition des sich entwickelnden Gehirns weitere Studien in diesem Bereich erforderlich sind.
197. (Ragy 2015): Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein elektromagnetisches Feld, das von einem Mobiltelefon ausgesendet wird, Beeinträchtigungen hinsichtlich einiger biochemischer Veränderungen und oxidativen Stress im Hirn-, Leber- und Nierengewebe von Albino-Ratten verursachen



- könnte. Diese Veränderungen waren reversibel (Beendigung der Exposition).
198. (Redmayne 2013): [Qualitative Analyse]
 199. (Redmayne, Smith et al. 2013), S.90: Es gab mehr statistisch signifikante Zusammenhänge (36%) als durch Zufall (5%) zu erwarten war. Bei mehreren handelte es sich um dosisabhängige Beziehungen. Um das Wohlergehen junger Menschen zu schützen, schlagen wir vor, ihre Nutzung von Mobiltelefonen und Schnurlostelefonen auf weniger als 15 Minuten täglich zu beschränken und bei längerer täglicher Nutzung eine Freisprecheinrichtung zu verwenden. Wir empfehlen, dass elterliche Maßnahmen ergriffen werden, um zu verhindern, dass Jugendliche durch ihre Mobiltelefone geweckt werden.
 200. (Rubin, Cleare et al. 2012): [Brief an den Herausgeber]
 201. (Rubin, Cleare et al. 2012b): [Brief an den Herausgeber]
 202. (Rubin, Nieto-Hernandez et al. 2010): [Review]
 203. (Sahin, Aslan et al. 2015), S.232: Zusammenfassend deuten unsere Ergebnisse darauf hin, dass der Verlust von Pyramidenzellen und die histopathologischen Veränderungen im Ammonshorn (Cornu Ammonis) von 8 Wochen alten männlichen Ratten möglicherweise auf die Exposition gegenüber 900-MHz-EMF zurückzuführen sind.
 204. (Saikhedkar, Bhatnagar et al. 2014), S. 1072: Unsere Ergebnisse deuten also auf eine ausgedehnte Neurodegeneration bei einer Exposition gegenüber Radiowellen hin. Eine erhöhte Produktion reaktiver Sauerstoffspezies aufgrund der Erschöpfung enzymatischer und nicht enzymatischer Antioxidantien und eine erhöhte Lipidperoxidation weisen auf eine ausgedehnte Neurodegeneration in ausgewählten Bereichen von CA1, CA3, DG und der Großhirnrinde hin. Diese umfangreiche neuronale Schädigung führt zu Verhaltensänderungen in Bezug auf das Gedächtnis und das Lernen.
 205. (Salama, Kishimoto et al. 2009): [zurückgezogen]
 206. (Salunke, Umathe et al. 2015), S.32: Das vorliegende Experiment zeigt, dass eine HF-EMF-Exposition von bis zu 120 Tagen bei Mäusen keine Angstzustände, Zwangsstörungen (Obsessive-compulsory Disorder – OCD) oder depressionsähnliches Verhalten hervorruft.
 207. (Saravi 2011), S.706: Die unterschiedlichen Asymmetrien zwischen den per Dual-Röntgen-Absorptiometrie gemessenen Werten der rechten und linken Hüfte bei Nichtnutzern und Mobiltelefonnutzern lassen vermuten, dass diese Geräte die Knochenmineralisierung negativ beeinflussen können.
 208. (Sato, Akiba et al. 2011), S.85: Das für Mobilfunknutzer mit einer durchschnittlichen Gesprächsdauer von > 20 min/Tag identifizierte erhöhte Risiko sollte mit Vorsicht interpretiert werden, wobei die Möglichkeiten von Verzerrungen bei Erfassung und Erinnerung zu berücksichtigen sind. Wir

konnten jedoch nicht schlussfolgern, dass das erhöhte Risiko vollständig durch diese Verzerrungen erklärbar ist, und ließen die Möglichkeit offen, dass die Nutzung von Mobiltelefonen das Risiko eines Akustikusneurinoms erhöht.

209. (Schoemaker and Swerdlow 2009), S.348: Für die beobachteten Induktionszeiträume und Nutzungsintensitäten fanden wir keine Hinweise darauf, dass das Risiko, Hypophysentumore zu entwickeln, mit der Nutzung von Mobiltelefonen zusammenhängt.
210. (Seckin, Suren Basar et al. 2014), S.400: Die Ergebnisse wiesen auf einen zellulären Strukturschaden in der Cochlea hin, der durch die Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung während der Entwicklung der Cochlea im Rattenmodell verursacht wurde.
211. (Sefidbakht, Moosavi-Movahedi et al. 2014), S.1082: Diese Fähigkeit in den Zellen, oxidativen Stress zu überwinden und die Luciferase-Aktivität zu kompensieren, könnte auch für den Mechanismus der adaptiven Reaktion verantwortlich sein, der in Studien zu ionisierender Strahlung mit HF-EMF-Vorbehandlungen festgestellt wurde.
212. (Sehitoglu, Tumkaya et al. 2015), S.562: Unsere Studie zeigte, dass eine ER-Exposition während der gesamten Embryogenese zu einer Verringerung der T-Gesamtwerte im Serum sowie der Größe und des Gewichts der Hoden männlicher Ratten führen kann, während sie gleichzeitig eine mäßige Zunahme der Apoptose verursacht.
213. (Sekijima, Takeda et al. 2010), S.277: Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine HF-Exposition bis zum Grenzwert der durchschnittlichen Ganzkörper-SAR-Werte, wie sie in den Richtlinien der ICNIRP festgelegt sind, bei den getesteten Zelllinien unter diesen Bedingungen wahrscheinlich keine allgemeine Stressreaktion auslöst.
214. (Sevi, Kumar et al. 2014), S.437: Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigten Anomalien in der Leitung der elektrischen Signale auf verschiedenen Ebenen der Hörbahn.
215. (Shah and Farrow 2014): [Literaturübersicht ohne abschließendes Ergebnis]
216. (Shahbazi-Gahrouei, Karbalae et al. 2014): Es wird vorgeschlagen, eine Mobilfunk-BTS-Antenne nicht näher als 300 m an die Bevölkerung zu positionieren, um die Exposition der Anwohner zu minimieren.
217. (Shahin, Mishra et al. 2014), S.511: Diese nachteiligen Auswirkungen auf die Fortpflanzung legen ferner nahe, dass eine chronische Exposition gegenüber nichtionisierender Mikrowellenstrahlung über den durch freie Radikale vermittelten Weg zu Unfruchtbarkeit führen kann.
218. (Shirai, Imai et al. 2014), S.497: Daher wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass unter den angewandten experimentellen Bedingungen eine Mehrgenerationen-Ganzkörperexposition gegenüber W-CDMA-Signalen von



- 2,14 GHz für 20 h/Tag keine schädlichen Auswirkungen auf die F1-, F2- und F3-Nachkommen hatte.
219. (Shivashankara, Joy et al. 2015), S. BC19: Signifikante Veränderungen bei Speichelenzymen und Malondialdehyde (MDA) deuten auf eine nachteilige Wirkung einer starken Nutzung von Mobiltelefonen auf die Zellgesundheit hin.
 220. (Shokri, Soltani et al. 2015), S.322: In Bezug auf die progressive Privilegierung von drahtlosen 2,45-GHz-Netzwerken in unserer Umwelt kamen wir zu dem Schluss, dass die zeitabhängige Ganzkörperexposition gegenüber den höheren Frequenzen von Wi-Fi-Netzwerken, die in der Nähe unserer Wohnorte existieren, Anlass zu großer Sorge geben sollte.
 221. (Sieron-Stoltny, Teister et al. 2015), S.896019: Auf der Grundlage der erhaltenen Ergebnisse wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass das durch ein 900-MHz-Mobiltelefon erzeugte elektromagnetische Feld keinen direkten Einfluss auf die makrometrischen Parameter der Knochen hat. Es verändert jedoch die Prozesse der Knochenmineralisierung sowie die Intensität der Knochenumsatzprozesse und beeinflusst somit die mechanische Festigkeit der Knochen.
 222. (Sirav and Seyhan 2011), S.253: Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Exposition gegenüber 0,9- und 1,8-GHz-CW-Hochfrequenzstrahlung (RFR) bei Werten unterhalb der internationalen Grenzwerte die Gefäßpermeabilität im Gehirn männlicher Ratten beeinträchtigen kann.
 223. (Sudan, Kheifets et al. 2012), S.46: In dieser Studie wurden Mobiltelefonexpositionen mit Kopfschmerzen bei Kindern in Verbindung gebracht, doch angesichts des Potenzials für unkontrollierte Konfundierung und Fehlklassifizierung in Beobachtungsstudien wie dieser sind die Zusammenhänge möglicherweise nicht kausal. Angesichts der weit verbreiteten Nutzung von Mobiltelefonen hätte ein kausaler Effekt – wenn es einen solchen gäbe – jedoch große Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit.
 224. (Sudan, Kheifets et al. 2013), S.247: Unsere Ergebnisse könnten durch verschiedene Verzerrungen beeinflusst worden sein und reichen nicht aus, um zu dem Schluss zu kommen, dass Mobiltelefonexpositionen einen Einfluss auf das Gehör haben. Dies ist die erste groß angelegte epidemiologische Studie, die diesen potenziell wichtigen Zusammenhang bei Kindern untersucht, und eine Replikation dieser Ergebnisse ist notwendig.
 225. (Sudan, Kheifets et al. 2013): [Kommentar]
 226. (Sun, Li et al. 2013), S.523: Diese Meta-Analyse legt nahe, dass die EMF-Exposition trotz der vorgebrachten Argumente mit dem erhöhten Risiko für Brustkrebs beim Mann in Verbindung gebracht werden könnte.
 227. (Suresh, Sabanayagam et al. 2011), S. 1: Wir fanden heraus, dass die Nutzung von Mobiltelefonen in einer landesweit repräsentativen Stichprobe

- von Erwachsenen in den USA in schützendem Zusammenhang mit selbstberichteter Hypertonie stand.
228. (Swerdlow, Feychting et al. 2011): [Kommentar]
 229. (Takahashi, Imai et al. 2010), S.362: So verursachte unter unseren Versuchsbedingungen die Ganzkörperexposition gegenüber 2,14 GHz für 20 Stunden pro Tag während der Trage- und Sägezeit keine nachteiligen Auswirkungen auf die Trächtigkeit oder die Entwicklung von Ratten.
 230. (Takebayashi, Varsier et al. 2008), S.652: Eine nicht signifikante Zunahme des Chancenverhältnisses (odds ratio, OR) bei Gliompatienten in der stark exponierten Gruppe kann auf einen Recall-Bias hindeuten.
 231. (Tang, Zhang et al. 2015), J., S.92: So fanden wir zum ersten Mal heraus, dass eine 28-tägige EMF-Exposition die Expression von mkp-1 induzierte, was zu einer ERK-Dephosphorylierung führte. Zusammengenommen zeigten diese Ergebnisse, dass die Exposition gegenüber EMF-Strahlung von 900 MHz über 28 Tage das räumliche Gedächtnis signifikant beeinträchtigen und die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke (BHS) bei Ratten durch eine Aktivierung des mkp-1/ERK-Signalwegs schädigen kann.
 232. (Tas, Dasdag et al. 2014): Abschließend behaupten wir, dass eine Langzeitexposition gegenüber einer HF-Strahlung von 900 MHz einige Reproduktionsparameter verändert. Es sind jedoch definitiv weitere stützende Beweise und Untersuchungen zu diesem Thema erforderlich.
 233. (Tell, Kavet et al. 2013), S.549: In einer Stichprobe von Messungen in sechs Einfamilienhäusern, die mit individuellen intelligenten Zählern (»Smart Meters«) ausgestattet waren, überschritt keine Messung des Spitzenfeldes in den Innenräumen 1 % des allgemeinen Grenzwertes der für Kommunikationswege, Rundfunk, Satellit und Kabel zuständige US Federal Communications Commission für die Exposition der Öffentlichkeit.
 234. (Tell, Sias et al. 2012), S. 17–29: Dies ist die erste Studie, bei der intelligente Zähler (»Smart Meters«) wie hier eingesetzt charakterisiert werden. Die Ergebnisse sind jedoch auf die Emittierer eines einzigen Herstellers beschränkt.
 235. (Thomas, Benke et al. 2010), S. 861: Wir haben beobachtet, dass einige Veränderungen der kognitiven Funktion, insbesondere eher bei der Reaktionszeit als bei der Genauigkeit, mit einer Latenzzeit von 1 Jahr auftraten und dass einige Veränderungen mit einer erhöhten Exposition verbunden waren. Die erhöhte Exposition wurde jedoch hauptsächlich auf diejenigen angewendet, die zu Beginn weniger Anrufe und SMS hatten, was darauf hindeutet, dass diese Veränderungen im Laufe der Zeit mit einer statistischen Regression zum Mittelwert zu tun haben könnten und nicht die Auswirkung der Mobiltelefonexposition sind.
 236. (Trosic, Pavicic et al. 2011), S.1259: Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass unter den angewendeten experimentellen Bedingungen eine wiederholte Befeldung bei 915 MHz eine Ursache für DNA-Brüche in



- Nieren- und Leberzellen sein könnte, das Genom der Zellen jedoch nicht in einem höheren Ausmaß beeinträchtigt, als dies bei der Basalschädigung der Fall ist.
237. (Tseng, Lin et al. 2013): Wir beobachteten keinen mäßigenden Effekt der Psychopathologie auf den Zusammenhang zwischen dem Grad der Empfindlichkeit gegenüber EMF und der Risikowahrnehmung. Somit hatte die Psychopathologie einen Einfluss auf die allgemeine Risikowahrnehmung der Menschen, ohne die Beziehung zwischen dem Grad der Empfindlichkeit der Menschen gegenüber EMF und der Risikowahrnehmung zu beeinflussen. Die plausiblen Erklärungen werden im Text diskutiert.
 238. (Tumkaya, Kalkan et al. 2016): Unsere Studie zeigte, dass Mobiltelefone mit einer niedrigen spezifischen Absorptionsrate keine schädlichen Auswirkungen auf pubertäre Rattenhoden haben.
 239. (Vanderwaal, Cha et al. 2006), S. 507: Die akute und die moderate Hyperthermie erhöhen signifikant die HSP27-Phosphorylierung, doch es gab keine signifikante Veränderung der HSP27-Werte nach nichtthermischer Exposition gegenüber TDMA- und GSM-modulierter HF-Strahlung.
 240. (Vijayalaxmi and Prihoda 2012) S. 1: Somit wurde die Klassifizierung von HF als möglicherweise krebserzeugend für den Menschen in Gruppe 2B nicht durch genotoxizitätsbasierte mechanistische Beweise gestützt.
 241. (Vijayalaxmi, Reddy et al. 2013), S. 542: Die Ergebnisse deuteten auf Folgendes hin: (i) Die Inzidenz von Mikrokernen (MN) war bei den Inkubator-Kontrollen ähnlich wie bei denjenigen, die gegenüber HF exponiert/scheinexponiert und gegenüber Melatonin (Mel) allein exponiert wurden; (ii) es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen WCDMA- und CW-HF-Expositionen; (iii) Zellen der Positivkontrolle, die gegenüber Gammastrahlung (GR) allein exponiert wurden, wiesen signifikant erhöhte MN auf; und (iv) die Behandlung mit Melatonin hatte keine Wirkung auf Zellen, die gegenüber HF exponiert und scheinexponiert wurden, während eine solche Behandlung die Häufigkeit von MN in GR-exponierten Zellen signifikant reduzierte.
 242. (Volkow, Tomasi et al. 2011), S. 808: Bei gesunden Teilnehmern und im Vergleich zu keiner Exposition war eine 50-minütige Mobiltelefonexposition mit einem erhöhten Glukosestoffwechsel im Gehirn in der Region verbunden, die der Antenne am nächsten lag. Die klinische Bedeutung dieses Befundes ist unbekannt.
 243. (Wang, Chang et al. 2015), S. 198: Wir stellten fest, dass mit wiederholter transkranieller Magnetstimulation (repetitive Transcranial Magnetic Stimulation – rTMS-) vorbehandelte Vaskulär-Demenz-Ratten im Morris-Wasserlabyrinth-Test im Vergleich zur unbehandelten Gruppe signifikant bessere Gedächtnis- und Lernfähigkeiten zeigten. Darüber hinaus waren die mRNA- und Proteinexpressionswerte von BDNF, TrkB und SYN in der

- rTMS-vorbehandelten Gruppe signifikant höher, was darauf hindeutet, dass die rTMS-Vorbehandlung eine neuroprotektive Wirkung auf vaskuläre Demenz (VaD) hat, was möglicherweise auf die erhöhten Werte von BDNF, TrkB und SYN in der CA1-Region des Hippocampus zurückzuführen ist.
244. (Wang, Liu et al. 2015), S. 1075: Auch wenn weitere Studien durchgeführt werden, unterstützen wir die Hypothese, dass 8-oxoG DNA glycosylase-1 (OGG1) am Prozess der DNA-Basenreparatur beteiligt ist und eine zentrale Rolle beim Schutz der DNA-Basen vor HF-EMF-induzierter oxidativer Schädigung spielen könnte.
 245. (Wang, Fei et al. 2016): Die Ergebnisse zeigten, dass eine chronische EMF-Exposition das männliche Plasmatestosteron und das T/E2-Verhältnis senken und möglicherweise die Fortpflanzungsfunktionen bei Männern beeinträchtigen könnte. Es wurden keine signifikanten Zusammenhänge zwischen EMF-Exposition und Entzündungsbiomarkern gefunden.
 246. (Yang, Hao et al. 2012), S. 1039: Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Mikrowellenbestrahlung die neoplastische Transformation von NIH/3T3-Zellen fördern kann.
 247. (Yilmaz, Yilmaz et al. 2014), S. 992: Unsere Ergebnisse zeigten, dass die von den Mobiltelefonen ausgestrahlten elektromagnetischen Wellen einen Einfluss auf die Apoptose haben können. Außerdem zeigten die erhaltenen Daten, dass die Bedeutung einer realistischeren Anwendung von Mobiltelefonen während der Experimente größer ist als erwartet.
 248. (Xiong, Sun et al. 2015), S. 13: Die Exposition gegenüber Mikrowellen mit 30 mW/cm² führte zu Veränderungen der synaptischen Struktur, der Freisetzung von Aminosäureneurotransmittern und des Calciumeinstroms. Die NMDAR-Signalmoleküle waren eng mit einer gestörten synaptischen Plastizität assoziiert.
 249. (Xu, Zhou et al. 2010), S. 189: Zusammen deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass eine HF-Strahlung von 1800 MHz eine oxidative Schädigung der mtDNA in primär kultivierten Neuronen verursachen könnte. Oxidativer Schäden an der mtDNA können für die Neurotoxizität von HF-Strahlung im Gehirn verantwortlich sein.
 250. (Xu, Chen et al. 2013), S. e54906: HF-EMF induziert DNA-Schäden in einer zelltypabhängigen Weise, doch die erhöhte Bildung von cH2AX-Foci in HSF-Zellen führt nicht zu signifikanten zellulären Fehlfunktionen.
 251. (Zarei, Mortazavi et al. 2015), S. 151: Obwohl eine große Einschränkung in unserer Studie die relativ kleine Stichprobengröße ist, weist diese Studie darauf hin, dass die mütterliche Exposition gegenüber üblichen Quellen elektromagnetischer Felder wie z.B. Mobiltelefone das Auftreten von Sprachproblemen bei den Nachkommen beeinflussen kann.
 252. (Zhang, Yao et al. 2013), S. 797: Die Shotgun-Proteomics-Methode kann zum Screenen der Proteine mit unterschiedlicher Expression zwischen



- menschlichen Linsenepithelzellen (human Lens Epithelial Cells – hLECs), die gegenüber einer HF mit 1,8 GHz exponiert wurden, und hLECs, die gegenüber einer HF mit 1,8 GHz scheinexponiert wurden, angewendet werden. Außerdem wurden drei Protein-Biomarker, die mit HF-Strahlung assoziiert sind, durch eine Western-Blot-Analyse validiert.
253. (Zhang, Li et al. 2015), S. 261: Zusammenfassend haben wir den ersten experimentellen Nachweis erbracht, dass Mikrowellen geschlechtsabhängige Effekte hervorrufen. Die trächtigen Mäuse in der Strahlungsgruppe erhielten eine 9,417-GHz-Befeldung mit einer Intensität von 200 V/m über 12 h.
254. (Zheng, Gao et al. 2015), S. e007302: Die vorliegende Studie zeigte, dass es einen konsistenten signifikanten Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und Müdigkeit bei Kindern gab. Weitere eingehende Forschung ist erforderlich, um die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der Nutzung von Mobiltelefonen bei Kindern zu erforschen.
255. (Zheng, Gao et al. 2014), S. 1022: Unsere Studie zeigt einige Zusammenhänge zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und Unaufmerksamkeit bei chinesischen Jugendlichen. Eine Verringerung der Mobiltelefonnutzung auf weniger als 60 Minuten pro Tag kann den Jugendlichen helfen, konzentriert und fokussiert zu bleiben.
256. (Zhijian, Xiaoxue et al. 2009), S. 100: Die Ergebnisse zeigten, dass (1) die DNA-Reparaturgeschwindigkeiten menschlicher Leukozyten nach der Röntgenbestrahlung individuelle Unterschiede zwischen den vier Spendern aufwiesen, (2) die intermittierenden RFR-Expositionen mit 1,8 GHz bei einem SAR-Wert von 2 W/kg für 24 Stunden keine direkte DNA-Schädigung induzierten oder synergistische Wirkungen mit Röntgenstrahlen auf menschliche Leukozyten zeigten.
257. (Zhijian, Xiaoxue et al. 2010), S. 16: Die Ergebnisse zeigten, dass (1) RFR keine direkte DNA-Schädigung menschlicher B-Zell-Lymphoblastoidzellen induzieren konnten, (2) Doxorubicin (DOX) mit der Dosis-Wirkungs-Beziehung signifikant eine DNA-Schädigung menschlicher B-Zell-Lymphoblastoidzellen induzieren konnte und dass es spezielle Reparaturmerkmale der durch DOX induzierten DNA-Schädigung gab, (3) eine kombinierte Exposition des E-E-E-Typs (Exposition gegenüber RFR für 2 h, dann gleichzeitige Exposition gegenüber RFR und DOX sowie Exposition gegenüber RFR für 6 h, 12 h, 18 h und 24 h nach Exposition gegenüber DOX) konnte offenbar die DNA-Reparatur 6 h und 12 h nach Exposition gegenüber DOX für vier DOX-Dosen (0,075 µg/ml, 0,10 µg/ml, 0,15 µg/ml und 0,20 µg/ml) in menschlichen B-Zell-Lymphoblastoidzellen beeinflussen.
258. (Zhijian, Xiaoxue et al. 2013), S. 36: Die mit der Western-Blot-Analyse validierten Ergebnisse zeigten, dass die Expression von RPA32 signifikant herunterreguliert war ($P < 0,05$), während die Expression von p73 in der RFR-exponierten Gruppe signifikant hochreguliert war ($P < 0,05$).

Aufgrund der entscheidenden Rolle dieser Proteine bei der DNA-Reparatur und Zellapoptose könnten die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung die biologischen Auswirkungen von RFR auf die DNA-Schädigung/-Reparatur und die Zellapoptose erklären.

259. (Zhou, Zhang et al. 2017): Eine Erkältung während der Schwangerschaft, Raumgestaltungsarbeiten, Haltung von Haustieren, eine nahe Mobilfunkbasisstation in einem Umkreis von 100 m um die Wohnung und hohe SAS-Werte (Self-Rating Anxiety Scale) sind die unabhängigen Risikofaktoren für einen Spontanabort in Peking.
260. (Zhu, Zhang et al. 2014), S.324: Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Mikrowellen das Zellwachstum hemmen und die Apoptose in JF305-Zellen über einen NF-κB-regulierten, von Mitochondrien vermittelten Signalweg induzieren.
261. (Zilberlicht, Wiener-Megnazi et al. 2015), S.421: Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass bestimmte Aspekte der Mobiltelefonnutzung negative Auswirkungen auf die Spermienkonzentration haben können. Eine Untersuchung anhand groß angelegter Studien ist daher erforderlich.
262. (Zong, Ji et al. 2015), S.270: Die Gesamtergebnisse deuteten darauf hin, dass die HF-Exposition in der Lage war, eine adaptive Reaktion zu induzieren und Bleomycin-induzierte (BLM) DNA sowie oxidative Schädigungen durch die Aktivierung bestimmter zellulärer Prozesse abschwächte.
263. (Zuo, Lin et al. 2014), S.426: Diese Studie könnte die experimentelle Grundlage für die weitere Untersuchung des Mechanismus der durch Mikrowellenstrahlung induzierten neurologischen Auswirkungen bilden.
264. (Zuo, Lin et al. 2015), S.1520: Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass das Raf-1 kinase inhibitory protein (RKIP) eine wichtige Rolle bei der durch Mikrowellenstrahlung induzierten Apoptose neuraler Zellen spielt und dass die Regulation der Zellapoptose durch RKIP teilweise über den MEK-/ERK-/CREB-Signalweg erfolgt. Dies deutet darauf hin, dass RKIP als Schlüsselregulator für neuronale Schäden durch Mikrowellenstrahlung fungieren könnte.
265. (Alazawi 2011), S.44: Es gab eine signifikante Zunahme der Prävalenz von Schlafstörungen, Müdigkeit, Unwohlsein bei den Bewohnern gegenüber der Station (jeweils 20,8% im Vergleich zu 10,9%, 23,4% im Vergleich zu 9,8%, 26,0% im Vergleich zu 12,0%) ($P < 0,05$).
266. (Aldad, Gan et al. 2012), S.1: Wir präsentieren den ersten experimentellen Nachweis von Neuropathologie aufgrund intrauteriner Mobilfunkstrahlung. Es sind weitere Experimente an Menschen oder nicht menschlichen Primaten erforderlich, um das Expositionsrisiko während der Schwangerschaft zu bestimmen.
267. (Burlaka, Tsybulin et al. 2013), S.219: Die Exposition sich entwickelnder Wachtel-Embryonen gegenüber HF-EMR extrem niedriger Intensität von



- GSM mit 900 MHz während mindestens einhundertachtundfünfzig Stunden führt zu einer signifikanten Überproduktion freier Radikaler/reaktiver Sauerstoffspezies und zu oxidativen Schädigungen der DNA in den Embryozellen. Die oxidativen Veränderungen können zu Pathologien bis hin zur onkogenen Transformation von Zellen führen.
268. (Cam and Seyhan 2012), S.420: Eine kurzzeitige Exposition (15 und 30 Minuten) gegenüber RFR (900 MHz) eines Mobiltelefons verursachte einen signifikanten Anstieg der DNA-Einzelstrangbrüche in menschlichen Haarwurzeln, die sich um das Ohr herum befinden, das für die Telefongespräche benutzt wird.
 269. (Chaturvedi, Singh et al. 2011), S.24: Dieser Bericht liefert zum ersten Mal experimentelle Nachweise dafür, dass eine kontinuierliche Exposition gegenüber Mikrowellenstrahlung niedriger Intensität negative Auswirkungen auf die Gehirnfunktion haben kann, da das zirkadiane System und die Rate der DNA-Schädigung verändert wird.
 270. (Falzone, Huyser et al. 2011): S.20: Diese Studie kommt zu dem Schluss, dass die HF-EMF-Exposition eine signifikante Wirkung auf die Spermienmorphometrie hatte, obwohl sie die Akrosomreaktion nicht nachteilig beeinflusste. Darüber hinaus wurde eine signifikante Verminderung der Spermienbindung an die Hemizona beobachtet. Diese Ergebnisse könnten auf eine signifikante Wirkung von HF-EMF auf das Befruchtungspotenzial von Spermien hinweisen.
 271. (Gorpinchenko, Nikitin et al. 2014), S.65: Es besteht eine Korrelation zwischen der Mobilfunkstrahlungsexposition, dem Grad der DNA-Fragmentierung und einer verminderten Spermienmotilität.
 272. (Jing, Yuhua et al. 2012), S.57: Durch diese Studie kamen wir zu dem Schluss, dass das Empfangen von Mikrowellenstrahlung von Mobiltelefonen über einen bestimmten Zeitraum während der Trächtigkeit bestimmte Schädigungen im fetalen Gehirn von Ratten hervorruft.
 273. (Karaca, Durmaz et al. 2012), S.53: Mobiltelefone, die HF verbreiten, können die DNA schädigen und die Genexpression in Gehirnzellen verändern.
 274. (Ballardin, Tusa et al. 2011), S.1: Wir nehmen an, dass kurzzeitige MW-Expositionen mit der Resonanzfrequenz von Wasser in V79-Zellen reversible Veränderungen des mitotischen Spindelapparats verursachen, was wiederum ein proapoptotisches Signal für die Zelllinie darstellt.
 275. (Bortkiewicz, Gadzicka et al. 2012), S.31: Die Erklärung, warum wir keine Korrelation zwischen der elektrischen Feldstärke und der Häufigkeit subjektiver Symptome, aber eine Korrelation zwischen den subjektiven Symptomen und der Entfernung von der Basisstation gefunden haben, bedarf weiterer Studien. Vielleicht sollten zu diesem Zweck neue Metriken der Expositionsbewertung eingeführt werden.
 276. (Carlberg and Hardell 2012): [Review].

277. (Lu, Huang et al. 2012), S. 1: Die Aktivierung der reaktiven Sauerstoffspezies (reactive oxygen species, ROS) wird durch die Konformationsstörung von Lipiden, Proteinen und DNA ausgelöst, die durch die Exposition gegenüber HF-EMF von GSM induziert wird. Obwohl festgestellt wurde, dass menschliche PBMC (»peripheral blood mononuclear cells«) einen Selbstschutzmechanismus besitzen, bei dem Carotinoide als Reaktion auf oxidativen Stress freigesetzt werden, um die weitere Zunahme der ROS zu verringern, führt das Ungleichgewicht zwischen der antioxidativen Abwehr und der ROS-Bildung immer noch zu einer Zunahme des Zelltods mit der Expositionsdauer und kann beim Menschen innerhalb von acht Stunden zum Tod von etwa 37% der PBMC führen.
278. (Ozgur, Kismali et al. 2013), S. 743: Studien zur RFR-Exposition während prä- und postnataler Perioden werden dazu beitragen, internationale Standards für den Schutz von Schwangeren und Neugeborenen vor umweltbedingter Hochfrequenzstrahlung (RFR) festzulegen.
279. (Şekeroğlu, Akar et al. 2012), S. 140: Da bei unreifen Ratten viel höhere und irreversible zytogenotoxische Schäden beobachtet wurden als bei reifen Ratten, sind weitere Studien erforderlich, um die Auswirkungen von EMF auf DNA-Schädigung und DNA-Reparatur zu verstehen und sichere Grenzen für Mensch und Umwelt, insbesondere für Kinder, festzulegen.
280. (Seyednour and Chekaniazar 2011), S. 1084: Es wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass eine Kurz- oder Langzeitexposition bei 950 MHz eine Progesteronunterdrückung und Cortisolfreisetzung verursachen kann, dass aber diese Frequenz nur im Falle einer Langzeitexposition eine Hyperglykämie bei Hamstern als Labormodell verursachen.
281. (Shahin, Singh et al. 2013), S. 1747: Es sind jedoch weitere Studien erforderlich, um den genauen Mechanismus und den Wirkungsort der schwachen Mikrowellen-Strahlung und ihre Wirkung auf die Implantation/Trächtigkeit durch oxidative Schädigung zu verstehen.
282. (Singh, Sharma et al. 2012), S. 1813: Die Studie kam zu dem Schluss, dass Mobilfunkstrahlung den Prozess der Rhizogenese durch biochemische Veränderungen beeinflusst, die sich als oxidativer Schaden manifestieren und zu einer Schädigung der Wurzeln führen.
283. (Sinha 2008), S. 505: Niederenergetische Mikrowellen-Befeldung kann schädlich sein, da sie ausreicht, um den Spiegel der Schilddrüsenhormone sowie die emotionale Reaktivität der befeldeten Tiere im Vergleich zu den Kontrolltieren zu verändern.
284. (Umur, Yaldiz et al. 2013), S. 742: Die von Mobiltelefonen ausgesendete elektromagnetische Strahlung verursachte in einer frühen Phase Entwicklungsverzögerungen bei Hühnerembryonen. Dieser Befund deutet darauf hin, dass die Nutzung von Mobiltelefonen durch schwangere Frauen Risiken bergen kann.



285. (Vojisavljevic, Pirogova et al. 2011), S. 793: Dieses Ergebnis kann zur Stützung der Hypothese dienen, dass Mikrowellen niedriger Intensität nicht-thermische Effekte in Biomolekülen induzieren können.
286. (Fragopoulou, Samara et al. 2012), S. 250: Die beobachteten Veränderungen der Proteinexpression könnten mit Veränderungen der Hirnplastizität zusammenhängen, auf oxidativen Stress im Nervensystem hindeuten oder an der Apoptose beteiligt sein und könnten möglicherweise die bisher berichteten Gesundheitsrisiken für den Menschen erklären, wie z.B. Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Müdigkeit, Gedächtnisdefizite und die langfristige Induktion von Hirntumoren unter ähnlichen Expositionsbedingungen.
287. (Hardell, Carlberg et al. 2013): [Kein weiterer Einblick bezüglich der Evidenz durch Betrachtung einer Meta-Analyse der Daten von Hardell und der Interphone-Studie]
288. (Jorge-Mora, Misa-Agustino et al. 2011), S. 2322: Die verwendeten Leistungsintensitäten lagen bei 3 bzw. 12 W und zur Bestimmung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) wurde das FDTD-Berechnungsverfahren (Finite Difference Time Domain) verwendet. Hohe SAR-Werte lösten 90 Minuten bzw. 24 Stunden nach der Befeldung einen Anstieg des c-Fos-Markers aus und niedrige SAR-Werte führten nach 24 Stunden zu höheren c-Fos-Werten als bei Kontrollratten. Eine wiederholte Befeldung bei 3 W erhöhte die zelluläre Aktivierung des Nucleus paraventricularis (PVN) um mehr als 100% im Vergleich zu Tieren, die einer akuten Befeldung ausgesetzt waren, und zu Tieren, die wiederholt keiner Befeldung ausgesetzt waren. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der PVN empfindlich auf Mikrowellenstrahlung mit 2,45 GHz bei nichtthermischen SAR-Werten reagiert.
289. (Manta, Stravopodis et al. 2014), S. 118: Es wird die These vertreten, dass der gepulste (mit einer Frequenz von 100 Hz und einer Dauer von 0,08 ms) Ruhezustand der DECT-Basisstrahlung in der Lage ist, die Bildung freier Radikale zu induzieren – wenn auch bei einem sehr niedrigen SAR-Wert. Dies führt schnell zu einer Akkumulation von ROS in der Art einer stetigen Sättigung bei Dauerexposition oder in der Art einer Erholung nach Unterbrechung der Strahlung, möglicherweise durch die Aktivierung des antioxidativen Mechanismus des Organismus.
290. (Ntzouni, Stamatakis et al. 2011), S. 193: Dies könnte implizieren, dass das primäre Ziel der EMF der Signalweg zur Informationsübertragung sein könnte, der die entorhinal-parahippocampalen Regionen verbindet, die an der ORT-Gedächtnisaufgabe (Object Recognition Task) beteiligt sind.
291. (Panagopoulos 2012), S. 121: Die Studie zeigte, dass die Größe der Eierstöcke der exponierten Insekten signifikant kleiner ist als die der entsprechenden scheinexponierten Insekten, ...

292. (Vecchio, Buffo et al. 2012), S.121: Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Spitzenamplitude der Alpha-ERD (Event-Related Desynchronization) und die Reaktionszeit auf die »Go«-Reize durch die Wirkung der GSM-EMF auf die kortikale Aktivität moduliert werden.

DIE wissenschaftliche Globaleinschätzungen sind auf folgende Zitate zurückzuführen

- (SSM 2016), S. 7: Schwache Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen häufiger und langfristiger Nutzung eines Mobiltelefons und Gliomen (bösartige Tumore des Hirngewebes) sowie vestibulären Schwannomen.
- (SSM 2016), S. 8a: Es wurden keine Hinweise darauf gefunden, dass sich diese Veränderungen in Verhaltenseffekten oder anderen gesundheitsschädlichen Auswirkungen niederschlagen.
- (SSM 2016), S. 8b: Im Allgemeinen gibt es im Laufe der Jahre immer mehr Belege für das Fehlen akuter Risiken.
- (SSM 2016), S. 8c: In mehreren epidemiologischen sowie human- und tierexperimentellen Studien wurde über einige Auswirkungen, vor allem auf die Spermienqualität, berichtet [...]. Allerdings waren fast alle diese Studien von geringer Qualität [...] und die Ergebnisse sind daher nicht aussagekräftig hinsichtlich des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins potenzieller Risiken. Darüber hinaus wurden diese Auswirkungen durch Tierstudien nicht gestützt.
- (SSM 2016), S. 8d: Viele Tierversuche wurden unter Verwendung eines großen Spektrums von Tumorarten und langfristiger, oft lebenslanger Exposition durchgeführt. Bis auf sehr wenige Ausnahmen wurde keine Wirkung der HF-Exposition auf Tumorwachstum und -entwicklung festgestellt.
- (SSM 2016), S. 17a: In einigen Untersuchungen wurden von Auswirkungen auf Parameter im Zusammenhang mit der Apoptose – wenn auch nur vorübergehenden – berichtet.
- (SSM 2016), S. 17b: Die neuen In-vitro-Studien bestätigen die früheren Schlussfolgerungen des Rates: Es wurden mehrere Endpunkte untersucht, und in den meisten Fällen wurde keine Wirkung der Exposition festgestellt.
- (SSM 2016), S. 17c: Die neuesten Tierstudien zu den Auswirkungen der Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern zeigen erneut einige Hinweise auf eine Zunahme des oxidativen Stresses – selbst bei einer Exposition bei SAR-Werten von nur 25 mW/kg, also unterhalb der aktuellen Expositionsgrenzwerte. Die Ergebnisse sind jedoch nicht konsistent.
- (SSM 2016), S. 17d: Ein erhöhter oxidativer Stress könnte gesundheitliche Auswirkungen nach sich ziehen, z. B. durch eine zunehmende DNA-Schädigung, was zu einem höheren Krebsrisiko führen kann.
- (SSM 2016), S. 18a: Abgesehen von der Vigilanz in einer Studie wurde die kognitive Leistung nicht beeinträchtigt. Außerdem wurden bei einer Arbeitsgedächtnisaufgabe widersprüchliche Ergebnisse beobachtet.



- (SSM 2016), S. 18b: Auswirkungen auf Stimmung, Wohlbefinden, somatische Beschwerden, subjektive Schlafqualität und physiologische Parameter, die in einzelnen Studien untersucht wurden, sind nicht beobachtet worden.
- (SSM 2016), S. 18c: Darüber hinaus konnten die Effekte innerhalb der Probandengruppe nicht repliziert werden. Die Wach-EEG-Studien zeigten eine verminderte Alpha-Aktivität in der bei geschlossenen Augen aufgezeichneten Ruhe-EEG-Aktivität sowie keine Auswirkungen auf langsame kortikale Potenziale und damit verbundene Leistungsparameter.
- (SSM 2016), S. 18d: Um die Frage zu beantworten, ob die Exposition des Fötus gegenüber hochfrequenten EMF mit nachteiligen Schwangerschaftsergebnissen zusammenhängt, sind anspruchsvollere Methoden zur Expositionsbeurteilung erforderlich.
- (SSM 2016), S. 18e: Infolgedessen hat sich an der Bewertung der Evidenz wenig geändert.

8.1.3 Publikationen im Kontext der Studienbasis

Die im Folgenden angeführten Publikationen stammen aus FSM (2017, S. 100–122) und dienen den Autoren dieses Gutachtens als umfängliche Studienbasis für die Auswertung des Stands der internationalen Literatur zu den gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder. Jedes Zitat, welches im Kapitel 8.1.2 unter »Zitatliste« angeführt wird, kann anhand seines Kodes »Autor 1, Autor 2, ... (Jahr), Seitenzahl« einer Publikation in der folgenden Liste zugeordnet werden. Beispielsweise führt die Zitatliste (II) als Autoren des angegebenen Zitats Ait-Aïssa et. al. (2010, S. 592) an. Die entsprechende Publikation, in der sich das Zitat im Original auf Englisch findet, ist demnach: Aït-Aïssa, S., B. Billaudel, F. P. De Gannes, A. Hurtier, E. Haro, M. Taxile, G. Ruffie, A. Athane, B. Veyret and I. Lagroye (2010). »In situ detection of gliosis and apoptosis in the brains of young rats exposed in utero to a Wi-Fi signal.« *Comptes Rendus Physique* 11(9): 592–601.

- Aboul Ezz, H. S., Y. A. Khadrawy, N. A. Ahmed, N. M. Radwan and M. M. El Bakry (2013). »The effect of pulsed electromagnetic radiation from mobile phone on the levels of monoamine neurotransmitters in four different areas of rat brain.« *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 17(13): 1782–1788.
- Adibzadeh, F., J. F. Bakker, M. M. Paulides, R. F. Verhaart and G. C. van Rhoon (2015). »Impact of head morphology on local brain specific absorption rate from exposure to mobile phone radiation.« *Bioelectromagnetics* 36(1): 66–76.
- Adibzadeh, F., G. C. van Rhoon, G. M. Verduijn, N. C. Naus-Postema and M. M. Paulides (2016). »Absence of acute ocular damage in humans after prolonged exposure to intense RF EMF.« *Phys Med Biol* 61(2): 488–503.

- Adibzadeh, F., R. F. Verhaart, G. M. Verduijn, V. Fortunati, Z. Rijnen, M. Franckena, G. C. van Rhooon and M. M. Paulides (2015). »Association of acute adverse effects with high local SAR induced in the brain from prolonged RF head and neck hyperthermia.« Phys Med Biol **60**(3): 995–1006.
- Aerts, S., C. Calderon, B. Valic, M. Maslanyj, D. Addison, T. Mee, C. Goiceanu, L. Verloock, M. Van den Bossche, P. Gajsek, R. Vermeulen, M. Roosli, E. Cardis, L. Martens and W. Joseph (2017). »Measurements of intermediate-frequency electric and magnetic fields in households.« Environ Res **154**: 160–170.
- Aerts, S., W. Joseph, M. Maslanyj, D. Addison, T. Mee, L. Colussi, J. Kamer and J. Bolte (2016). »Prediction of RF-EMF exposure levels in large outdoor areas through car-mounted measurements on the enveloping roads.« Environment International **94**: 482–488.
- Aerts, S., D. Plets, A. Thielens, L. Martens and W. Joseph (2015). »Impact of a small cell on the RF-EMF exposure in a train.« Int J Environ Res Public Health **12**(3): 2639–2652.
- Aerts, S., G. Vermeeren, C. Calderon, B. Valič, M. Van Den Bossche, L. Verloock, M. Maslanyj, D. Addison, P. Gajšek, L. Martens, M. Rööslī, E. Cardis and W. Joseph (2017). Exposure to electric and magnetic fields at intermediate frequencies of household appliances. IEEE International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium – Italy (ACES), 2017, IEEE.
- Agarwal, A., A. Singh, A. Hamada and K. Kesari (2011). »Cell phones and male infertility: a review of recent innovations in technology and consequences.« Int Braz J Urol **37**(4): 432–454.
- Aït-Aïssa, S., B. Billaudel, F. P. De Gannes, A. Hurtier, E. Haro, M. Taxile, G. Ruffie, A. Athane, B. Veyret and I. Lagroye (2010). »In situ detection of gliosis and apoptosis in the brains of young rats exposed in utero to a Wi-Fi signal.« Comptes Rendus Physique **11**(9): 592–601.
- Ait-Aïssa, S., B. Billaudel, F. Poullétier de Gannes, G. Ruffie, S. Duleu, A. Hurtier, E. Haro, M. Taxile, A. Athane, M. Geffard, T. Wu, J. Wiart, D. Bodet, B. Veyret and I. Lagroye (2012). »In utero and early-life exposure of rats to a Wi-Fi signal: screening of immune markers in sera and gestational outcome.« Bioelectromagnetics **33**(5): 410–420.
- Ait-Aïssa, S., F. P. de Gannes, M. Taxile, B. Billaudel, A. Hurtier, E. Haro, G. Ruffie, A. Athane, B. Veyret and I. Lagroye (2013). »In situ expression of heat-shock proteins and 3-nitrotyrosine in brains of young rats exposed to a Wi-Fi signal in utero and in early life.« Radiat Res **179**(6): 707–716.
- Akbari, A., G. Jelodar and S. Nazifi (2014). »Vitamin C protects rat cerebellum and encephalon from oxidative stress following exposure to radiofrequency



- wave generated by a BTS antenna model.« Toxicol Mech Methods **24**(5): 347–352.
- Al-Damegh, M. A. (2012). »Rat testicular impairment induced by electromagnetic radiation from a conventional cellular telephone and the protective effects of the antioxidants vitamins C and E.« Clinics (Sao Paulo) 67(7): 785–792.*
- Alazawi, S. A. (2011). »Mobile Phone Base Stations Health Effects.« Diyala Journal of Medicine 1(1): 44–52.*
- Aldad, T. S., G. Gan, X. B. Gao and H. S. Taylor (2012). »Fetal radiofrequency radiation exposure from 800-1900 mhz-rated cellular telephones affects neurodevelopment and behavior in mice.« Sci Rep 2: 312.*
- Andersen, J. B., K. L. Chee, M. Jacob, G. F. Pedersen and T. Kurner (2012). »Reverberation and Absorption in an Aircraft Cabin With the Impact of Passengers.« IEEE Transactions on Antennas and Propagation 60(5): 2472–2480.*
- Andrianome, S., J. Gobert, L. Hugueville, E. Stephan-Blanchard, F. Telliez and B. Selmaoui (2017). »An assessment of the autonomic nervous system in the electrohypersensitive population: a heart rate variability and skin conductance study.« J Appl Physiol (1985): jaS.00229.02017.*
- Andrianome, S., L. Hugueville, R. de Seze, M. Hanot-Roy, K. Blazy, C. Gamez and B. Selmaoui (2016). »Disturbed sleep in individuals with Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF): Melatonin assessment as a biological marker.« Bioelectromagnetics.*
- ANSES (2013). Update of the »Radiofrequency electromagnetic fields and health« expert appraisal. Maisons-Alfort, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.*
- ANSES (2015). Exposition aux agents physiques et aux nouvelles technologies : quels effets sanitaires ?, Agence nationale de sécurité sanitaire, alimentation, environnement, travail.*
- ANSES (2016a). Expert appraisal of »Exposure to radiofrequencies and child health«. Maisons-Alfort, French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety.*
- ANSES (2016b). Regards sur dix ans de recherche – Le PNR EST, de 2006 à 2015. Maisons-Alfort, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.*
- ANSES (2017a). Radiofréquences et santé – Comprendre où en est la recherche. Maisons-Alfort, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.*
- ANSES (2017b). Radiofréquences & santé. Maisons-Alfort, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.*
- Arendash, G. W., J. Sanchez-Ramos, T. Mori, M. Mamcarz, X. Lin, M. Runfeldt, L. Wang, G. Zhang, V. Sava, J. Tan and C. Cao (2010). »Electromagnetic*

- field treatment protects against and reverses cognitive impairment in Alzheimer's disease mice.*« *J Alzheimers Dis* **19**(1): 191–210.
- Arnaud-Cormos, D., M. Soueid, R. O'Connor, Y. Percherancier, I. Lagroye, B. Veyret and P. Leveque (2015). Delivery system setup and characterization for biological cells exposed to nanosecond pulsed electric field. *IEEE International Microwave Symposium (IMS)*, 2015, IEEE: 1–4.
- Atasoy, H. I., M. Y. Gunal, P. Atasoy, S. Elgun and G. Bugdayci (2013). »Immunohistopathologic demonstration of deleterious effects on growing rat testes of radiofrequency waves emitted from conventional Wi-Fi devices.« *J Pediatr Urol* **9**(2): 223–229.
- Atzmon, I., S. Linn, E. Richter and B. A. Portnov (2012). »Cancer risks in the Druze Isifya Village: Reasons and RF/MW antennas.« *Pathophysiology* **19**(1): 21–28.
- Augner, C., T. Gnams, R. Winker and A. Barth (2012). »Acute effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on subjective well-being and physiological reactions: a meta-analysis.« *Sci Total Environ* **424**: 11–15.
- Avci, B., A. Akar, B. Bilgici and O. K. Tuncel (2012). »Oxidative stress induced by 1.8 GHz radio frequency electromagnetic radiation and effects of garlic extract in rats.« *Int J Radiat Biol* **88**(11): 799–805.
- Aydin, B. and A. Akar (2011). »Effects of a 900-MHz electromagnetic field on oxidative stress parameters in rat lymphoid organs, polymorphonuclear leukocytes and plasma.« *Arch Med Res* **42**(4): 261–267.
- Aydogan, F., E. Aydin, G. Koca, E. Ozgur, P. Atilla, A. Tuzuner, S. Demirci, A. Tomruk, G. G. Ozturk, N. Seyhan, M. Korkmaz, S. Muftuoglu and E. E. Samim (2015). »The effects of 2100-MHz radiofrequency radiation on nasal mucosa and mucociliary clearance in rats.« *Int Forum Allergy Rhinol* **5**(7): 626–632.
- Aydogan, F., I. Unlu, E. Aydin, N. Yumusak, E. Devrim, E. E. Samim, E. Ozgur, V. Unsal, A. Tomruk, G. G. Ozturk and N. Seyhan (2015). »The effect of 2100 MHz radiofrequency radiation of a 3G mobile phone on the parotid gland of rats.« *Am J Otolaryngol* **36**(1): 39–46.
- Bakacak, M., M. S. Bostanci, R. Attar, O. K. Yildirim, G. Yildirim, Z. Bakacak, H. Sayar and A. Han (2015). »The effects of electromagnetic fields on the number of ovarian primordial follicles: An experimental study.« *Kaohsiung J Med Sci* **31**(6): 287–292.
- Bakker, J. F., M. M. Paulides, A. Christ, N. Kuster and G. C. van Rhoon (2010). »Assessment of induced SAR in children exposed to electromagnetic plane waves between 10 MHz and 5.6 GHz.« *Phys Med Biol* **55**(11): 3115–3130.
- Bakker, J. F., M. M. Paulides, E. Neufeld, A. Christ, N. Kuster and G. C. van Rhoon (2011). »Children and adults exposed to electromagnetic fields at the



- ICNIRP reference levels: theoretical assessment of the induced peak temperature increase.« Phys Med Biol **56**(15): 4967–4989.
- Balakrishnan, K., V. Murali, C. Rathika, T. Manikandan, R. P. Malini, R. A. Kumar and M. Krishnan (2014). »Hsp70 is an independent stress marker among frequent users of mobile phones.« J Environ Pathol Toxicol Oncol **33**(4): 339–347.
- Baliatsas, C., J. Bolte, J. Yzermans, G. Kelfkens, M. Hooiveld, E. Lebet and I. van Kamp (2015). »Actual and perceived exposure to electromagnetic fields and non-specific physical symptoms: an epidemiological study based on self-reported data and electronic medical records.« Int J Hyg Environ Health **218**(3): 331–344.
- Baliatsas, C., I. van Kamp, J. Bolte, G. Kelfkens, C. van Dijk, P. Spreeuwenberg, M. Hooiveld, E. Lebet and J. Yzermans (2016). »Clinically defined non-specific symptoms in the vicinity of mobile phone base stations: A retrospective before-after study.« Sci Total Environ **565**: 714–720.
- Baliatsas, C., I. Van Kamp, J. Bolte, M. Schipper, J. Yzermans and E. Lebet (2012). »Non-specific physical symptoms and electromagnetic field exposure in the general population: can we get more specific? A systematic review.« Environ Int **41**: 15–28.
- Baliatsas, C., I. van Kamp, G. Kelfkens, M. Schipper, J. Bolte, J. Yzermans and E. Lebet (2011). »Non-specific physical symptoms in relation to actual and perceived proximity to mobile phone base stations and powerlines.« BMC Public Health **11**: 421.
- Ballardin, M., I. Tusa, N. Fontana, A. Monorchio, C. Pelletti, A. Rogovich, R. Barale and R. Scarpato (2011). »Non-thermal effects of 2.45 GHz microwaves on spindle assembly, mitotic cells and viability of Chinese hamster V-79 cells.« Mutat Res **716**(1-2): 1–9.
- Bamba, A., W. Joseph, J. B. Andersen, E. Tanghe, G. Vermeeren, D. Plets, J. Ø. Nielsen and L. Martens (2012). »Experimental Assessment of Specific Absorption Rate Using Room Electromagnetics.« IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility **54**(4): 747–757.
- Bamba, A., W. Joseph, G. Vermeeren, E. Tanghe, D. P. Gaillot, J. B. Andersen, J. O. Nielsen, M. Lienard and L. Martens (2013). »Validation of experimental whole-body SAR assessment method in a complex indoor environment.« Bioelectromagnetics **34**(2): 122–132.
- Barazani, Y., B. F. Katz, H. M. Nagler and D. S. Stember (2014). »Lifestyle, environment, and male reproductive health.« Urol Clin North Am **41**(1): 55–66.
- Barchana, M., M. Margaliot and I. Liphshitz (2012). »Changes in brain glioma incidence and laterality correlates with use of mobile phones—a nationwide population based study in Israel.« Asian Pac J Cancer Prev **13**(11): 5857–5863.

- Barthelemy, A., A. Mouchard, M. Bouji, K. Blazy, R. Puigsegur and A. S. Villegier (2016). »Glial markers and emotional memory in rats following acute cerebral radiofrequency exposures.« Environ Sci Pollut Res Int **23**(24): 25343–25355.
- Beekhuizen, J., G. B. Heuvelink, A. Huss, A. Burgi, H. Kromhout and R. Vermeulen (2014). »Impact of input data uncertainty on environmental exposure assessment models: A case study for electromagnetic field modelling from mobile phone base stations.« Environ Res **135**: 148–155.
- Beekhuizen, J., H. Kromhout, A. Burgi, A. Huss and R. Vermeulen (2015). »What input data are needed to accurately model electromagnetic fields from mobile phone base stations?« J Expo Sci Environ Epidemiol **25**(1): 53–57.
- Beekhuizen, J., R. Vermeulen, H. Kromhout, A. Bürgi and A. Huss (2013). »Geospatial modelling of electromagnetic fields from mobile phone base stations.« Science of The Total Environment **445**: 202–209.
- Beekhuizen, J., R. Vermeulen, M. van Eijdsen, R. van Strien, A. Bürgi, E. Loomans, M. Guxens, H. Kromhout and A. Huss (2014). »Modelling indoor electromagnetic fields (EMF) from mobile phone base stations for epidemiological studies.« Environment International **67**: 22–26.
- Beyer, C., P. Christen, I. Jelesarov and J. Frohlich (2014). »Real-time assessment of possible electromagnetic-field-induced changes in protein conformation and thermal stability.« Bioelectromagnetics **35**(7): 470–478.
- BfS (2008). Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms. Salzgitter, Bundesamt für Strahlenschutz.
- Bhargava, S., M. B. Motwani and V. M. Patni (2012). »Effect of handheld mobile phone use on parotid gland salivary flow rate and volume.« Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol **114**(2): 200–206.
- Bilgici, B., A. Akar, B. Avci and O. K. Tuncel (2013). »Effect of 900 MHz radiofrequency radiation on oxidative stress in rat brain and serum.« Electromagn Biol Med **32**(1): 20–29.
- Birks, L., M. Guxens, E. Papadopoulou, J. Alexander, F. Ballester, M. Estarlich, M. Gallastegi, M. Ha, M. Haugen, A. Huss, L. Kheifets, H. Lim, J. Olsen, L. Santa-Marina, M. Sudan, R. Vermeulen, T. Vrijkotte, E. Cardis and M. Vrijheid (2017). »Maternal cell phone use during pregnancy and child behavioral problems in five birth cohorts.« Environ Int **104**: 122–131.
- Boice, J. D., Jr. and R. E. Tarone (2011). »Cell phones, cancer, and children.« J Natl Cancer Inst **103**(16): 1211–1213.
- Bolte, J. F., G. van der Zande and J. Kamer (2011). »Calibration and uncertainties in personal exposure measurements of radiofrequency electromagnetic fields.« Bioelectromagnetics **32**(8): 652–663.
- Bolte, J. F. B. (2016). »Lessons learnt on biases and uncertainties in personal exposure measurement surveys of radiofrequency electromagnetic fields with exposimeters.« Environment International **94**: 724–735.



- Boriskin, A. V., M. Zhadobov, S. Steshenko, Y. L. Dréan, L. L. Coq, C. Person and R. Sauleau (2013). »Enhancing Exposure Efficiency and Uniformity Using a Choke Ring Antenna: Application to Bioelectromagnetic Studies at 60 GHz.« IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques **61**(5): 2005–2014.
- Bortkiewicz, A., E. Gadzicka, A. Szykowska, P. Poltanski, P. Mamrot, W. Szymczak and M. Zmyslony (2012). »Subjective complaints of people living near mobile phone base stations in Poland.« Int J Occup Med Environ Health **25**(1): 31–40.
- Bouji, M., A. Lecomte, C. Gamez, K. Blazy and A. S. Villegier (2016). »Neurobiological effects of repeated radiofrequency exposures in male senescent rats.« Biogerontology **17**(5-6): 841–857.
- Bouji, M., A. Lecomte, Y. Hode, R. de Seze and A.-S. Villégier (2012). »Effects of 900MHz radiofrequency on corticosterone, emotional memory and neuroinflammation in middle-aged rats.« Experimental Gerontology **47**(6): 444–451.
- Budak, G. G., N. B. Muluk, B. Budak, G. G. Ozturk, A. Apan and N. Seyhan (2009). »Effects of GSM-like radiofrequency on distortion product otoacoustic emissions of rabbits: comparison of infants versus adults.« Int J Pediatr Otorhinolaryngol **73**(8): 1143–1147.
- Budak, G. G., N. B. Muluk, B. Budak, G. G. Ozturk, A. Apan and N. Seyhan (2009). »Effects of intrauterine and extrauterine exposure to GSM-like radiofrequency on distortion product otoacoustic emissions in infant male rabbits.« Int J Pediatr Otorhinolaryngol **73**(3): 391–399.
- Budak, G. G., N. B. Muluk, B. Budak, G. G. Ozturk, A. Apan and N. Seyhan (2009). »Effects of Intrauterine and Extrauterine GSM-like Radiofrequency on Distortion Product Otoacoustic Emissions in Infant Female Rabbits.« Journal of International Advanced Otology **5**(2).
- Budak, G. G., N. B. Muluk, G. G. Ozturk, B. Budak, A. Apan, N. Seyhan and C. Sanli (2009). »Effects of GSM-like radiofrequency on distortion product otoacoustic emissions in pregnant adult rabbits.« Clin Invest Med **32**(2): E112–116.
- Burlaka, A., O. Tsybulin, E. Sidorik, S. Lukin, V. Polishuk, S. Tsehmistrenko and I. Yakymenko (2013). »Overproduction of free radical species in embryonal cells exposed to low intensity radiofrequency radiation.« Exp Oncol **35**(3): 219–225.
- Byun, Y. H., M. Ha, H. J. Kwon, K. H. Choi, E. Burm, Y. Choi, M. H. Lim, S. J. Yoo, K. C. Paik, H. D. Choi and N. Kim (2013). »Epidemiological characteristics of mobile phone ownership and use in korean children and adolescents.« Environ Health Toxicol **28**: e2013018.
- Byun, Y. H., M. Ha, H. J. Kwon, Y. C. Hong, J. H. Leem, J. Sakong, S. Y. Kim, C. G. Lee, D. Kang, H. D. Choi and N. Kim (2013). »Mobile phone use, blood

- lead levels, and attention deficit hyperactivity symptoms in children: a longitudinal study.*« *PLoS One* **8**(3): e59742.
- Cabot, E., A. Christ, B. Buhlmann, M. Zefferer, N. Chavannes, J. F. Bakker, G. C. van Rhoon and N. Kuster (2014). »Quantification of RF-exposure of the fetus using anatomical CAD-models in three different gestational stages.« *Health Phys* **107**(5): 369–381.
- Calderon, C., D. Addison, T. Mee, R. Findlay, M. Maslanyj, E. Conil, H. Kromhout, A. K. Lee, M. R. Sim, M. Taki, N. Varsier, J. Wiart and E. Cardis (2014). »Assessment of extremely low frequency magnetic field exposure from GSM mobile phones.« *Bioelectromagnetics* **35**(3): 210–221.
- Calderon, C., H. Ichikawa, M. Taki, K. Wake, D. Addison, T. Mee, M. Maslanyj, H. Kromhout, A. K. Lee, M. R. Sim, J. Wiart and E. Cardis (2017). »ELF exposure from mobile and cordless phones for the epidemiological MOBI-Kids study.« *Environ Int* **101**: 59–69.
- Cam, S. T. and N. Seyhan (2012). »Single-strand DNA breaks in human hair root cells exposed to mobile phone radiation.« *Int J Radiat Biol* **88**(5): 420–424.
- Cam, S. T., N. Seyhan, C. Kavakli and O. Celikbicak (2014). »Effects of 900 MHz radiofrequency radiation on skin hydroxyproline contents.« *Cell Biochem Biophys* **70**(1): 643–649.
- Canseven, A. G., M. A. Esmekaya, H. Kayhan, M. Z. Tuysuz and N. Seyhan (2015). »Effects of microwave exposure and Gemcitabine treatment on apoptotic activity in Burkitt's lymphoma (Raji) cells.« *Electromagn Biol Med* **34**(4): 322–326.
- Cao, H., F. Qin, X. Liu, J. Wang, Y. Cao, J. Tong and H. Zhao (2015). »Circadian rhythmicity of antioxidant markers in rats exposed to 1.8 GHz radiofrequency fields.« *Int J Environ Res Public Health* **12**(2): 2071–2087.
- Cao, Y., Q. Xu, Z. D. Jin, Z. Zhou, J. H. Nie and J. Tong (2011). »Induction of adaptive response: pre-exposure of mice to 900 MHz radiofrequency fields reduces hematopoietic damage caused by subsequent exposure to ionising radiation.« *Int J Radiat Biol* **87**(7): 720–728.
- Carlberg, M. and L. Hardell (2012). »On the association between glioma, wireless phones, heredity and ionising radiation.« *Pathophysiology* **19**(4): 243–252.
- Carrubba, S., C. Frilot, 2nd, A. L. Chesson, Jr. and A. A. Marino (2010). »Mobile-phone pulse triggers evoked potentials.« *Neurosci Lett* **469**(1): 164–168.
- Celikozlu, S. D., M. S. Ozyurt, A. Cimbiz, M. Y. Yardimoglu, M. K. Cayci and Y. Ozay (2012). »The effects of long-term exposure of magnetic field via 900-MHz GSM radiation on some biochemical parameters and brain histology in rats.« *Electromagn Biol Med* **31**(4): 344–355.
- Cetin, H., M. Naziroglu, O. Celik, M. Yuksel, N. Pastaci and M. O. Ozkaya (2014). »Liver antioxidant stores protect the brain from electromagnetic radiation (900 and 1800 MHz)-induced oxidative stress in rats during



- pregnancy and the development of offspring.*« J Matern Fetal Neonatal Med **27**(18): 1915–1921.
- Chaturvedi, C. M., V. P. Singh, P. Singh, P. Basu, M. Singaravel, R. K. Shukla, A. Dhawan, A. K. Pati, R. K. Gangwar and S. P. Singh (2011). »2.45 GHz (CW) microwave irradiation alters circadian organization, spatial memory, DNA structure in the brain cells and blood cell counts of male mice, *Mus musculus*.« Progr Electromagn Res B **29**: 23–42.
- Chen, C., Q. Ma, C. Liu, P. Deng, G. Zhu, L. Zhang, M. He, Y. Lu, W. Duan, L. Pei, M. Li, Z. Yu and Z. Zhou (2014). »Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation impairs neurite outgrowth of embryonic neural stem cells.« Sci Rep **4**: 5103.
- Chen, G., D. Lu, H. Chiang, D. Leszczynski and Z. Xu (2012). »Using model organism *Saccharomyces cerevisiae* to evaluate the effects of ELF-MF and RF-EMF exposure on global gene expression.« Bioelectromagnetics **33**(7): 550–560.
- Chen, Q., G. Xu, L. Lang, A. Yang, S. Li, L. Yang, C. Li, H. Huang and T. Li (2013). »ECG changes in factory workers exposed to 27.2 MHz radiofrequency radiation.« Bioelectromagnetics **34**(4): 285–290.
- Chiaromello, E., M. Parazzini, P. Ravazzani and J. Wiart (2017). Assessment of fetal exposure to 4G LTE tablet in realistic scenarios using stochastic dosimetry. IEEE International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium – Italy (ACES), 2017, IEEE.
- Chiu, C. T., Y. H. Chang, C. C. Chen, M. C. Ko and C. Y. Li (2015). »Mobile phone use and health symptoms in children.« J Formos Med Assoc **114**(7): 598–604.
- Choi, S. B., M. K. Kwon, J. W. Chung, J. S. Park, K. Chung and D. W. Kim (2014). »Effects of short-term radiation emitted by WCDMA mobile phones on teenagers and adults.« BMC Public Health **14**: 438.
- Christ, A., R. Guldemann, B. Buhlmann, M. Zefferer, J. F. Bakker, G. C. van Rhoon and N. Kuster (2012). »Exposure of the human body to professional and domestic induction cooktops compared to the basic restrictions.« Bioelectromagnetics **33**(8): 695–705.
- Chu, M. K., H. G. Song, C. Kim and B. C. Lee (2011). »Clinical features of headache associated with mobile phone use: a cross-sectional study in university students.« BMC Neurol **11**: 115.
- Col-Araz, N. (2013). »Evaluation of factors affecting birth weight and preterm birth in southern Turkey.« J Pak Med Assoc **63**(4): 459–462.
- Colak, C., H. Parlakpinar, N. Ermis, M. E. Tagluk, C. Colak, E. Sarihan, O. F. Dilek, B. Turan, S. Bakir and A. Acet (2012). »Effects of electromagnetic radiation from 3G mobile phone on heart rate, blood pressure and ECG parameters in rats.« Toxicol Ind Health **28**(7): 629–638.

- Croft, R. J., D. L. Hamblin, J. Spong, A. W. Wood, R. J. McKenzie and C. Stough (2008). »The effect of mobile phone electromagnetic fields on the alpha rhythm of human electroencephalogram.« Bioelectromagnetics **29**(1): 1–10.
- Croft, R. J., S. Leung, R. J. McKenzie, S. P. Loughran, S. Iskra, D. L. Hamblin and N. R. Cooper (2010). »Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly.« Bioelectromagnetics **31**(6): 434–444.
- Dahdouh, S., N. Varsier, M. A. Nunez Ochoa, J. Wiart, A. Peyman and I. Bloch (2016). »Infants and young children modeling method for numerical dosimetry studies: application to plane wave exposure.« Phys Med Biol **61**(4): 1500–1514.
- Dama, M. S. and M. N. Bhat (2013). »Mobile phones affect multiple sperm quality traits: a meta-analysis.« F1000Res **2**: 40.
- Daniels, W. M., I. L. Pitout, T. J. Afullo and M. V. Mabandla (2009). »The effect of electromagnetic radiation in the mobile phone range on the behaviour of the rat.« Metab Brain Dis **24**(4): 629–641.
- Dasdag, S., M. Z. Akdag, M. E. Erdal, N. Erdal, O. I. Ay, M. E. Ay, S. G. Yilmaz, B. Tasdelen and K. Yegin (2015). »Effects of 2.4 GHz radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi equipment on microRNA expression in brain tissue.« Int J Radiat Biol **91**(7): 555–561.
- Dasdag, S., M. Z. Akdag, M. E. Erdal, N. Erdal, O. I. Ay, M. E. Ay, S. G. Yilmaz, B. Tasdelen and K. Yegin (2015). »Long term and excessive use of 900 MHz radiofrequency radiation alter microRNA expression in brain.« Int J Radiat Biol **91**(4): 306–311.
- Dasdag, S., M. Z. Akdag, G. Kizil, M. Kizil, D. U. Cakir and B. Yokus (2012). »Effect of 900 MHz radio frequency radiation on beta amyloid protein, protein carbonyl, and malondialdehyde in the brain.« Electromagn Biol Med **31**(1): 67–74.
- Dasdag, S., M. Z. Akdag, E. Ulukaya, A. K. Uzunlar and A. R. Ocak (2009). »Effect of mobile phone exposure on apoptotic glial cells and status of oxidative stress in rat brain.« Electromagn Biol Med **28**(4): 342–354.
- Dasdag, S., M. Tas, M. Z. Akdag and K. Yegin (2015). »Effect of long-term exposure of 2.4 GHz radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi equipment on testes functions.« Electromagn Biol Med **34**(1): 37–42.
- Dawe, A. S., R. K. Bodhicharla, N. S. Graham, S. T. May, T. Reader, B. Loader, A. Gregory, M. Swicord, G. Bit-Babik and D. I. de Pomerai (2009). »Low-intensity microwave irradiation does not substantially alter gene expression in late larval and adult *Caenorhabditis elegans*.« Bioelectromagnetics **30**(8): 602–612.
- De Iuliis, G. N., R. J. Newey, B. V. King and R. J. Aitken (2009). »Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro.« PLoS One **4**(7): e6446.



- de Tommaso, M., P. Rossi, R. Falsaperla, V. Francesco Vde, R. Santoro and A. Federici (2009). »Mobile phones exposure induces changes of contingent negative variation in humans.« Neurosci Lett **464**(2): 79–83.
- Demirel, S., S. Doganay, Y. Turkoz, Z. Dogan, B. Turan and P. G. Firat (2012). »Effects of third generation mobile phone-emitted electromagnetic radiation on oxidative stress parameters in eye tissue and blood of rats.« Cutan Ocul Toxicol **31**(2): 89–94.
- Deshmukh, P. S., B. D. Banerjee, M. P. Abegaonkar, K. Megha, R. S. Ahmed, A. K. Tripathi and P. K. Mediratta (2013). »Effect of low level microwave radiation exposure on cognitive function and oxidative stress in rats.« Indian J Biochem Biophys **50**(2): 114–119.
- Deshmukh, P. S., K. Megha, B. D. Banerjee, R. S. Ahmed, S. Chandna, M. P. Abegaonkar and A. K. Tripathi (2013). »Detection of Low Level Microwave Radiation Induced Deoxyribonucleic Acid Damage Vis-a-vis Genotoxicity in Brain of Fischer Rats.« Toxicol Int **20**(1): 19–24.
- Deshmukh, P. S., N. Nasare, K. Megha, B. D. Banerjee, R. S. Ahmed, D. Singh, M. P. Abegaonkar, A. K. Tripathi and P. K. Mediratta (2015). »Cognitive impairment and neurogenotoxic effects in rats exposed to low-intensity microwave radiation.« Int J Toxicol **34**(3): 284–290.
- Diez, L. F., S. M. Anwar, L. R. d. Lope, M. L. Hennaft, Y. Toutain and R. Agüero (2014). Design and integration of a low-complexity dosimeter into the smart city for EMF assessment. 2014 European Conference on Networks and Communications (EuCNC).
- Ding, G. R., X. W. Wang, K. C. Li, L. B. Qiu, S. L. Xu, J. Tan and G. Z. Guo (2009). »Comparison of Hsps expression after radio-frequency field exposure in three human glioma cell lines.« Biomed Environ Sci **22**(5): 374–380.
- Ding, L. X. and Y. X. Wang (2011). »Increasing incidence of brain and nervous tumours in urban Shanghai, China, 1983-2007.« Asian Pac J Cancer Prev **12**(12): 3319–3322.
- Divan, H. A., L. Kheifets, C. Obel and J. Olsen (2008). »Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children.« Epidemiology **19**(4): 523–529.
- Divan, H. A., L. Kheifets, C. Obel and J. Olsen (2012). »Cell phone use and behavioural problems in young children.« J Epidemiol Community Health **66**(6): 524–529.
- Dode, A. C., M. M. Leao, A. Tejo Fde, A. C. Gomes, D. C. Dode, M. C. Dode, C. W. Moreira, V. A. Condessa, C. Albinatti and W. T. Caiaffa (2011). »Mortality by neoplasia and cellular telephone base stations in the Belo Horizonte municipality, Minas Gerais state, Brazil.« Sci Total Environ **409**(19): 3649–3665.

- Dürrenberger, G., R. Högg and M. Holenstein (2017). »Divergierende Risikobewertungen.« Sicherheitsforum **17**(5): 54–57.
- El-Bediwi, A. B., M. Saad, A. F. El-kott and E. Eid (2013). »Influence of electromagnetic radiation produced by mobile phone on some biophysical blood properties in rats.« Cell Biochem Biophys **65**(3): 297–300.
- Elliott, P., M. B. Toledano, J. Bennett, L. Beale, K. de Hoogh, N. Best and D. J. Briggs (2010). »Mobile phone base stations and early childhood cancers: case-control study.« Bmj **340**: c3077.
- Eltiti, S., D. Wallace, K. Zougkou, R. Russo, S. Joseph, P. Rasor and E. Fox (2007). »Development and evaluation of the electromagnetic hypersensitivity questionnaire.« Bioelectromagnetics **28**(2): 137–151.
- Elwood, J. M. (2012). »Microwaves in the cold war: the Moscow embassy study and its interpretation. Review of a retrospective cohort study.« Environ Health **11**: 85.
- Eris, A. H., H. S. Kiziltan, I. Meral, H. Genc, M. Trabzon, H. Seyithanoglu, B. Yagci and O. Uysal (2015). »Effect of Short-term 900 MHz low level electromagnetic radiation exposure on blood serotonin and glutamate levels.« Bratisl Lek Listy **116**(2): 101–103.
- Esmekaya, M. A., C. Ozer and N. Seyhan (2011). »900 MHz pulse-modulated radiofrequency radiation induces oxidative stress on heart, lung, testis and liver tissues.« Gen Physiol Biophys **30**(1): 84–89.
- Falzone, N., C. Huyser, P. Becker, D. Leszczynski and D. R. Franken (2011). »The effect of pulsed 900-MHz GSM mobile phone radiation on the acrosome reaction, head morphometry and zona binding of human spermatozoa.« Int J Androl **34**(1): 20–26.
- Finnie, J. W., Z. Cai, J. Manavis, S. Helps and P. C. Blumbergs (2010). »Microglial activation as a measure of stress in mouse brains exposed acutely (60 minutes) and long-term (2 years) to mobile telephone radiofrequency fields.« Pathology **42**(2): 151–154.
- Finnie, J. W., G. Chidlow, P. C. Blumbergs, J. Manavis and Z. Cai (2009). »Heat shock protein induction in fetal mouse brain as a measure of stress after whole of gestation exposure to mobile telephony radiofrequency fields.« Pathology **41**(3): 276–279.
- Foerster, M., K. Roser, A. Schoeni and M. Roosli (2015). »Problematic mobile phone use in adolescents: derivation of a short scale MPPUS-10.« Int J Public Health **60**(2): 277–286.
- Fragopoulou, A. F., A. Samara, M. H. Antonelou, A. Xanthopoulou, A. Papadopoulou, K. Vougas, E. Koutsogiannopoulou, E. Anastasiadou, D. J. Stravopodis, G. T. Tsangaris and L. H. Margaritis (2012). »Brain proteome response following whole body exposure of mice to mobile phone or wireless DECT base radiation.« Electromagn Biol Med **31**(4): 250–274.



- Frilot, C., 2nd, S. Carrubba and A. A. Marino (2014). »Sensory transduction of weak electromagnetic fields: role of glutamate neurotransmission mediated by NMDA receptors.« Neuroscience **258**: 184–191.
- FSM (2017). Jahresbericht 2016. FSM, FSM. **17**.
- Furubayashi, T., A. Ushiyama, Y. Terao, Y. Mizuno, K. Shirasawa, P. Pongpaibool, A. Y. Simba, K. Wake, M. Nishikawa, K. Miyawaki, A. Yasuda, M. Uchiyama, H. K. Yamashita, H. Masuda, S. Hirota, M. Takahashi, T. Okano, S. Inomata-Terada, S. Sokejima, E. Maruyama, S. Watanabe, M. Taki, C. Ohkubo and Y. Ugawa (2009). »Effects of short-term W-CDMA mobile phone base station exposure on women with or without mobile phone related symptoms.« Bioelectromagnetics **30**(2): 100–113.
- Gajsek, P., P. Ravazzani, J. Wiart, J. Grellier, T. Samaras and G. Thuroczy (2015). »Electromagnetic field exposure assessment in Europe radiofrequency fields (10 MHz-6 GHz).« J Expo Sci Environ Epidemiol **25**(1): 37–44.
- Gallastegi, M., M. Guxens, A. Jimenez-Zabala, I. Calvente, M. Fernandez, L. Birks, B. Struchen, M. Vrijheid, M. Estarlich, M. F. Fernandez, M. Torrent, F. Ballester, J. J. Aurrekoetxea, J. Ibarluzea, D. Guerra, J. Gonzalez, M. Roosli and L. Santa-Marina (2016). »Characterisation of exposure to non-ionising electromagnetic fields in the Spanish INMA birth cohort: study protocol.« BMC Public Health **16**(1): 167.
- Gandhi, G., G. Kaur and U. Nisar (2015). »A cross-sectional case control study on genetic damage in individuals residing in the vicinity of a mobile phone base station.« Electromagn Biol Med **34**(4): 344–354.
- Garcia-Fernandez, M. A., Y. Percherancier, I. Lagroye, O. C. RP, B. Veyret, D. Arnaud-Cormos and P. Leveque (2016). »Dosimetric Characteristics of an EMF Delivery System Based on a Real-Time Impedance Measurement Device.« IEEE Trans Biomed Eng **63**(11): 2317–2325.
- Ghanmi, A., N. Varsier, A. Hadjem, E. Conil, O. Picon and J. Wiart (2013). »Study of the influence of the laterality of mobile phone use on the SAR induced in two head models.« CR physique **14**(5): 418–424.
- Ghanmi, A., N. Varsier, A. Hadjem, E. Conil, O. Picon and J. Wiart (2014). »Analysis of the influence of handset phone position on RF exposure of brain tissue.« Bioelectromagnetics **35**(8): 568–579.
- Goedhart, G., H. Kromhout, J. Wiart and R. Vermeulen (2015). »Validating self-reported mobile phone use in adults using a newly developed smartphone application.« Occup Environ Med **72**(11): 812–818.
- Goedhart, G., M. Vrijheid, J. Wiart, M. Hours, H. Kromhout, E. Cardis, C. Eastman Langer, P. de Llobet Viladoms, A. Massardier-Pilonchery and R. Vermeulen (2015). »Using software-modified smartphones to validate self-reported mobile phone use in young people: A pilot study.« Bioelectromagnetics **36**(7): 538–543.

- Gong, Y., M. Capstick, T. Tillmann, C. Dasenbrock, T. Samaras and N. Kuster (2016). »Desktop exposure system and dosimetry for small scale in vivo radiofrequency exposure experiments.« *Bioelectromagnetics* **37**(1): 49–61.
- Gorpinchenko, I., O. Nikitin, O. Banyra and A. Shulyak (2014). »The influence of direct mobile phone radiation on sperm quality.« *Cent European J Urol* **67**(1): 65–71.
- Gosselin, M. C., S. Kuhn and N. Kuster (2013). »Experimental and numerical assessment of low-frequency current distributions from UMTS and GSM mobile phones.« *Phys Med Biol* **58**(23): 8339–8357.
- Grigoriev, Y. G., O. A. Grigoriev, A. A. Ivanov, A. M. Lyaginskaya, A. V. Merkulov, N. B. Shagina, V. N. Maltsev, P. Leveque, A. M. Ulanova, V. A. Osipov and A. V. Shafirkin (2010). »Confirmation studies of Soviet research on immunological effects of microwaves: Russian immunology results.« *Bioelectromagnetics* **31**(8): 589–602.
- Gul, A., H. Celebi and S. Ugras (2009). »The effects of microwave emitted by cellular phones on ovarian follicles in rats.« *Arch Gynecol Obstet* **280**(5): 729–733.
- Gulati, S., A. Yadav, N. Kumar, Kanupriya, N. K. Aggarwal, R. Kumar and R. Gupta (2016). »Effect of GSTM1 and GSTT1 Polymorphisms on Genetic Damage in Humans Populations Exposed to Radiation From Mobile Towers.« *Arch Environ Contam Toxicol* **70**(3): 615–625.
- Guler, G., A. Tomruk, E. Ozgur and N. Seyhan (2010). »The effect of radiofrequency radiation on DNA and lipid damage in non-pregnant and pregnant rabbits and their newborns.« *Gen Physiol Biophys* **29**(1): 59–66.
- Gupta, N., D. Goyal, R. Sharma and K. S. Arora (2015). »Effect of Prolonged Use of Mobile Phone on Brainstem Auditory Evoked Potentials.« *J Clin Diagn Res* **9**(5): Cc07-09.
- Guxens, M., R. Vermeulen, M. van Eijsden, J. Beekhuizen, T. G. Vrijkotte, R. T. van Strien, H. Kromhout and A. Huss (2016). »Outdoor and indoor sources of residential radiofrequency electromagnetic fields, personal cell phone and cordless phone use, and cognitive function in 5-6 years old children.« *Environ Res* **150**: 364–374.
- Gye, M. C. and C. J. Park (2012). »Effect of electromagnetic field exposure on the reproductive system.« *Clin Exp Reprod Med* **39**(1): 1–9.
- Haas, A. J., Y. Le Page, M. Zhadobov, A. Boriskin, R. Sauleau and Y. Le Drean (2016). »Impact of 60-GHz millimeter waves on stress and pain-related protein expression in differentiating neuron-like cells.« *Bioelectromagnetics* **37**(7): 444–454.
- Habauzit, D., C. Le Quement, M. Zhadobov, C. Martin, M. Aubry, R. Sauleau and Y. Le Drean (2014). »Transcriptome analysis reveals the contribution of thermal and the specific effects in cellular response to millimeter wave exposure.« *PLoS One* **9**(10): e109435.



- Haghani, M., M. Shabani and K. Moazzami (2013). »Maternal mobile phone exposure adversely affects the electrophysiological properties of Purkinje neurons in rat offspring.« *Neuroscience* **250**: 588–598.
- Hanci, H., S. Turedi, Z. Topal, T. Mercantepe, I. Bozkurt, H. Kaya, S. Ersoz, B. Unal and E. Odaci (2015). »Can prenatal exposure to a 900 MHz electromagnetic field affect the morphology of the spleen and thymus, and alter biomarkers of oxidative damage in 21-day-old male rats?« *Biotech Histochem* **90**(7): 535–543.
- Hao, D., L. Yang, S. Chen, J. Tong, Y. Tian, B. Su, S. Wu and Y. Zeng (2013). »Effects of long-term electromagnetic field exposure on spatial learning and memory in rats.« *Neurol Sci* **34**(2): 157–164.
- Hardell, L., M. Carlberg, F. Soderqvist and K. H. Mild (2013). »Pooled analysis of case-control studies on acoustic neuroma diagnosed 1997-2003 and 2007-2009 and use of mobile and cordless phones.« *Int J Oncol* **43**(4): 1036-1044.
- Hassoy, H., R. Durusoy and A. O. Karababa (2013). »Adolescents' risk perceptions on mobile phones and their base stations, their trust to authorities and incivility in using mobile phones: a cross-sectional survey on 2240 high school students in Izmir, Turkey.« *Environ Health* **12**: 10.
- Havas, M. and J. Marrongelle (2013). »Replication of heart rate variability provocation study with 2.4-GHz cordless phone confirms original findings.« *Electromagn Biol Med* **32**(2): 253–266.
- He, G. L., Y. Liu, M. Li, C. H. Chen, P. Gao, Z. P. Yu and X. S. Yang (2014). »The amelioration of phagocytic ability in microglial cells by curcumin through the inhibition of EMF-induced pro-inflammatory responses.« *J Neuroinflammation* **11**: 49.
- Héliot, F., M. A. Imran and R. Tafazolli (2013a). Energy-efficient coordinated resource allocation for the downlink of cellular systems. 2013 Future Network & Mobile Summit.
- Héliot, F., M. A. Imran and R. Tafazolli (2013b). Near-optimal energy-efficient joint resource allocation for multi-hop MIMO-AF systems. 2013 IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC).
- Hirose, H., A. Sasaki, N. Ishii, M. Sekijima, T. Iyama, T. Nojima and Y. Ugawa (2010). »1950 MHz IMT-2000 field does not activate microglial cells in vitro.« *Bioelectromagnetics* **31**(2): 104–112.
- Hong, M. N., B. C. Kim, Y. G. Ko, Y. S. Lee, S. C. Hong, T. Kim, J. K. Pack, H. D. Choi, N. Kim and J. S. Lee (2012). »Effects of 837 and 1950 MHz radiofrequency radiation exposure alone or combined on oxidative stress in MCF10A cells.« *Bioelectromagnetics* **33**(7): 604–611.
- Hou, Q., M. Wang, S. Wu, X. Ma, G. An, H. Liu and F. Xie (2015). »Oxidative changes and apoptosis induced by 1800-MHz electromagnetic radiation in NIH/3T3 cells.« *Electromagn Biol Med* **34**(1): 85–92.

- Hsu, M. H., S. Syed-Abdul, J. Scholl, W. S. Jian, P. Lee, U. Iqbal and Y. C. Li (2013). »The incidence rate and mortality of malignant brain tumors after 10 years of intensive cell phone use in Taiwan.« Eur J Cancer Prev **22**(6): 596–598.
- Huang, Y., N. Varsier, S. Niksic, E. Kocan, M. Pejanovic-Djurisic, M. Popovic, M. Koprivica, A. Neskovic, J. Milinkovic, A. Gati, C. Person and J. Wiart (2016). »Comparison of average global exposure of population induced by a macro 3G network in different geographical areas in France and Serbia.« Bioelectromagnetics **37**(6): 382–390.
- Huss, A., M. Murbach, I. van Moorselaar, N. Kuster, R. van Strien, H. Kromhout, R. Vermeulen and P. Slottje (2016). »Novel exposure units for at-home personalized testing of electromagnetic sensibility.« Bioelectromagnetics **37**(1): 62–68.
- Huss, A., M. van Eijsden, M. Guxens, J. Beekhuizen, R. van Strien, H. Kromhout, T. Vrijkotte and R. Vermeulen (2015). »Environmental Radiofrequency Electromagnetic Fields Exposure at Home, Mobile and Cordless Phone Use, and Sleep Problems in 7-Year-Old Children.« PLoS One **10**(10): e0139869.
- IARC (2013). »Non-ionizing radiation, Part 2: Radiofrequency electromagnetic fields.« IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum **102**(Pt 2): 1-460.
- Ikeda, K. and K. Nakamura (2014). »Association between mobile phone use and depressed mood in Japanese adolescents: a cross-sectional study.« Environ Health Prev Med **19**(3): 187–193.
- Imai, N., M. Kawabe, T. Hikage, T. Nojima, S. Takahashi and T. Shirai (2011). »Effects on rat testis of 1.95-GHz W-CDMA for IMT-2000 cellular phones.« Syst Biol Reprod Med **57**(4): 204–209.
- Imge, E. B., B. Kilicoglu, E. Devrim, R. Cetin and I. Durak (2010). »Effects of mobile phone use on brain tissue from the rat and a possible protective role of vitamin C – a preliminary study.« Int J Radiat Biol **86**(12): 1044-1049.
- Inskip, P. D., R. N. Hoover and S. S. Devesa (2010). »Brain cancer incidence trends in relation to cellular telephone use in the United States.« Neuro Oncol **12**(11): 1147–1151.
- Jelodar, G., A. Akbari and S. Nazifi (2013). »The prophylactic effect of vitamin C on oxidative stress indexes in rat eyes following exposure to radiofrequency wave generated by a BTS antenna model.« Int J Radiat Biol **89**(2): 128–131.
- Jeong, Y. J., G. Y. Kang, J. H. Kwon, H. D. Choi, J. K. Pack, N. Kim, Y. S. Lee and H. J. Lee (2015). »1950 MHz Electromagnetic Fields Ameliorate Abeta Pathology in Alzheimer’s Disease Mice.« Curr Alzheimer Res **12**(5): 481–492.
- Jiang, B., J. Nie, Z. Zhou, J. Zhang, J. Tong and Y. Cao (2012). »Adaptive response in mice exposed to 900 MHz radiofrequency fields: primary DNA damage.« PLoS One **7**(2): e32040.



- Jiang, B., C. Zong, H. Zhao, Y. Ji, J. Tong and Y. Cao (2013). »Induction of adaptive response in mice exposed to 900MHz radiofrequency fields: application of micronucleus assay.« *Mutat Res* **751**(2): 127–129.
- Jin, Y. B., H. D. Choi, B. C. Kim, J. K. Pack, N. Kim and Y. S. Lee (2013). »Effects of simultaneous combined exposure to CDMA and WCDMA electromagnetic fields on serum hormone levels in rats.« *J Radiat Res* **54**(3): 430–437.
- Jin, Z., C. Zong, B. Jiang, Z. Zhou, J. Tong and Y. Cao (2012). »The effect of combined exposure of 900 MHz radiofrequency fields and doxorubicin in HL-60 cells.« *PLoS One* **7**(9): e46102.
- Jing, J., Z. Yuhua, Y. Xiao-Qian, J. Rongping, G. Dong-Mei and C. Xi (2012). »The influence of microwave radiation from cellular phone on fetal rat brain.« *Electromagnetic biology and medicine* **31**(1): 5–66.
- Jorge-Mora, T., M. J. Misa-Agustino, J. A. Rodriguez-Gonzalez, F. J. Jorge-Barreiro, F. J. Ares-Pena and E. Lopez-Martin (2011). »The effects of single and repeated exposure to 2.45 GHz radiofrequency fields on c-Fos protein expression in the paraventricular nucleus of rat hypothalamus.« *Neurochem Res* **36**(12): 2322–2332.
- Jurewicz, J., M. Radwan, W. Sobala, D. Ligocka, P. Radwan, M. Bochenek and W. Hanke (2014). »Lifestyle and semen quality: role of modifiable risk factors.« *Syst Biol Reprod Med* **60**(1): 43–51.
- Kang, K. A., H. C. Lee, J. J. Lee, M. N. Hong, M. J. Park, Y. S. Lee, H. D. Choi, N. Kim, Y. G. Ko and J. S. Lee (2014). »Effects of combined radiofrequency radiation exposure on levels of reactive oxygen species in neuronal cells.« *J Radiat Res* **55**(2): 265–276.
- Karaca, E., B. Durmaz, H. Altug, T. Yildiz, C. Guducu, M. Irgi, M. G. C. Koksall, F. Ozkinay, C. Gunduz and O. Cogulu (2012). »The genotoxic effect of radiofrequency waves on mouse brain.« *Journal of neuro-oncology* **106**(1): 53–58.
- Kato, Y. and O. Johansson (2012). »Reported functional impairments of electrosensitive Japanese: A questionnaire survey.« *Pathophysiology* **19**(2): 95–100.
- Kayabasoglu, G., O. S. Sezen, G. Eraslan, E. Aydin, T. Coskuner and S. Unver (2011). »Effect of chronic exposure to cellular telephone electromagnetic fields on hearing in rats.« *J Laryngol Otol* **125**(4): 348–353.
- Kazemi, E., S. M. Mortazavi, A. Ali-Ghanbari, S. Sharifzadeh, R. Ranjbaran, Z. Mostafavi-Pour, F. Zal and M. Haghani (2015). »Effect of 900 MHz Electromagnetic Radiation on the Induction of ROS in Human Peripheral Blood Mononuclear Cells.« *J Biomed Phys Eng* **5**(3): 105–114.
- Kesari, K. K. and J. Behari (2010). »Microwave exposure affecting reproductive system in male rats.« *Appl Biochem Biotechnol* **162**(2): 416–428.

- Kesari, K. K. and J. Behari (2012). »Evidence for mobile phone radiation exposure effects on reproductive pattern of male rats: role of ROS.« *Electromagn Biol Med* **31**(3): 213–222.
- Kesari, K. K., S. Kumar and J. Behari (2010). »Mobile phone usage and male infertility in Wistar rats.« *Indian J Exp Biol* **48**(10): 987–992.
- Kesari, K. K., S. Kumar and J. Behari (2011). »900-MHz microwave radiation promotes oxidation in rat brain.« *Electromagn Biol Med* **30**(4): 219–234.
- Kesari, K. K., S. Kumar and J. Behari (2011). »Effects of radiofrequency electromagnetic wave exposure from cellular phones on the reproductive pattern in male Wistar rats.« *Appl Biochem Biotechnol* **164**(4): 546–559.
- Kesari, K. K., S. Kumar and J. Behari (2012). »Pathophysiology of microwave radiation: effect on rat brain.« *Appl Biochem Biotechnol* **166**(2): 379–388.
- Khalil, A. M., M. H. Gagaa and A. M. Alshamali (2012). »8-Oxo-7, 8-dihydro-2'-deoxyguanosine as a biomarker of DNA damage by mobile phone radiation.« *Hum Exp Toxicol* **31**(7): 734–740.
- Kheifets, L., J. Monroe, X. Vergara, G. Mezei and A. A. Afifi (2008). »Occupational electromagnetic fields and leukemia and brain cancer: an update to two meta-analyses.« *J Occup Environ Med* **50**(6): 677–688.
- Khirazova, E. E., A. A. Baizhumanov, L. K. Trofimova, L. I. Deev, M. V. Maslova, N. A. Sokolova and N. Y. Kudryashova (2012). »Effects of GSM-Frequency Electromagnetic Radiation on Some Physiological and Biochemical Parameters in Rats.« *Bull Exp Biol Med* **153**(6): 816–819.
- Kim, H. N., N. K. Han, M. N. Hong, S. G. Chi, Y. S. Lee, T. Kim, J. K. Pack, H. D. Choi, N. Kim and J. S. Lee (2012). »Analysis of the cellular stress response in MCF10A cells exposed to combined radio frequency radiation.« *J Radiat Res* **53**(2): 176–183.
- Kiyohara, K., K. Wake, S. Watanabe, T. Arima, Y. Sato, N. Kojimahara, M. Taki, E. Cardis and N. Yamaguchi (2016b). »Long-term recall accuracy for mobile phone calls in young Japanese people: A follow-up validation study using software-modified phones.« *J Expo Sci Environ Epidemiol*.
- Kiyohara, K., K. Wake, S. Watanabe, T. Arima, Y. Sato, N. Kojimahara, M. Taki and N. Yamaguchi (2016a). »Recall accuracy of mobile phone calls among Japanese young people.« *J Expo Sci Environ Epidemiol* **26**(6): 566–574.
- Kok, H. P., P. Wust, P. R. Stauffer, F. Bardati, G. C. van Rhoon and J. Crezee (2015). »Current state of the art of regional hyperthermia treatment planning: a review.« *Radiat Oncol* **10**: 196.
- Kokturk, S., M. Yardimoglu, S. D. Celikozlu, E. G. Dolanbay and A. Cimbiz (2013). »Effect of *Lycopersicon esculentum* extract on apoptosis in the rat cerebellum, following prenatal and postnatal exposure to an electromagnetic field.« *Exp Ther Med* **6**(1): 52–56.
- Koprivica, M., A. Neskovic and N. Neskovic (2015). »Conversion from mono-axial to isotropic measurements for assessing human exposure to



- electromagnetic fields of GSM/DCS/UMTS base stations.« Ann Telecommun **70**(9): 407–414.
- Koprivica, M., M. Petric, N. Neskovic and A. Neskovic (2016). »Statistical analysis of electromagnetic radiation measurements in the vicinity of indoor microcell GSM/UMTS base stations in Serbia.« Bioelectromagnetics **37**(1): 69–76.
- Koprivica, M., V. Slavkovic, N. Neskovic and A. Neskovic (2016). »Statistical analysis of electromagnetic radiation measurements in the vicinity of GSM/UMTS base station installed on buildings in Serbia.« Radiat Prot Dosimetry **168**(4): 489–502.
- Krayni, A., A. Hadjem, A. Sibille, C. Roblin and J. Wiart (2016). »A novel methodology to evaluate uplink exposure by personal devices in wireless networks.« IEEE Trans Electromagn Compat **58**(3): 896–906.
- Kumar, S., J. Behari and R. Sisodia (2012). »Impact of Microwave at X-Band in the aetiology of male infertility.« Electromagnetic biology and medicine **31**(3): 223–232.
- Kumar, S., S. Murarka, V. V. Mishra and A. K. Gautam (2014). »Environmental & lifestyle factors in deterioration of male reproductive health.« Indian J Med Res **140 Suppl**: S29–35.
- Kuzniar, A., C. Laffeber, B. Eppink, K. Bezstarosti, D. Dekkers, H. Woelders, A. P. Zwamborn, J. Demmers, J. H. Lebbink and R. Kanaar (2017). »Semi-quantitative proteomics of mammalian cells upon short-term exposure to non-ionizing electromagnetic fields.« PLoS One **12**(2): e0170762.
- Kwon, M. S. and H. Hämäläinen (2011). »Effects of mobile phone electromagnetic fields: critical evaluation of behavioral and neurophysiological studies.« Bioelectromagnetics **32**(4): 253–272.
- Kwon, M. S., V. Vorobyev, S. Kännälä, M. Laine, J. O. Rinne, T. Toivonen, J. Johansson, M. Teräs, H. Lindholm and T. Alanko (2011). »GSM mobile phone radiation suppresses brain glucose metabolism.« Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism **31**(12): 2293–2301.
- Langer, C. E., P. de Llobet, A. Dalmau, J. Wiart, G. Goedhart, M. Hours, G. P. Benke, E. Bouka, R. Bruchim, K. H. Choi, A. Eng, M. Ha, M. Karalexi, K. Kiyohara, N. Kojimahara, D. Krewski, H. Kromhout, B. Lacour, A. t Mannelje, M. Maule, E. Migliore, C. Mohipp, F. Momoli, E. Petridou, K. Radon, T. Remen, S. Sadetzki, M. R. Sim, T. Weinmann, R. Vermeulen, E. Cardis and M. Vrijheid (2017). »Patterns of cellular phone use among young people in 12 countries: Implications for RF exposure.« Environ Int **107**: 65–74.
- Le Quement, C., C. Nicolas Nicolaz, M. Zhadobov, F. Desmots, R. Sauleau, M. Aubry, D. Michel and Y. Le Drean (2012). »Whole-genome expression analysis in primary human keratinocyte cell cultures exposed to 60 GHz radiation.« Bioelectromagnetics **33**(2): 147–158.

- Le Quement, C., C. N. Nicolaz, D. Habauzit, M. Zhadobov, R. Sauleau and Y. Le Dren (2014). »Impact of 60-GHz millimeter waves and corresponding heat effect on endoplasmic reticulum stress sensor gene expression.« *Bioelectromagnetics* **35**(6): 444–451.
- Lee, A. K., S. E. Hong, J. H. Kwon, H. D. Choi and E. Cardis (2017). »Mobile phone types and SAR characteristics of the human brain.« *Phys Med Biol* **62**(7): 2741–2761.
- Lee, A. K., Y. Yoon, S. Lee, B. Lee, S. E. Hong, H. D. Choi and E. Cardis (2016). »Numerical Implementation of Representative Mobile Phone Models for Epidemiological Studies.« *JEES* **16**(2): 87–99.
- Lee, H. J., Y. B. Jin, J. S. Lee, S. Y. Choi, T. H. Kim, J. K. Pack, H. D. Choi, N. Kim and Y. S. Lee (2011). »Lymphoma development of simultaneously combined exposure to two radiofrequency signals in AKR/J mice.« *Bioelectromagnetics* **32**(6): 485–492.
- Lee, H. J., J. S. Lee, J. K. Pack, H. D. Choi, N. Kim, S. H. Kim and Y. S. Lee (2009). »Lack of teratogenicity after combined exposure of pregnant mice to CDMA and WCDMA radiofrequency electromagnetic fields.« *Radiat Res* **172**(5): 648–652.
- Lee, K. Y., B. C. Kim, N. K. Han, Y. S. Lee, T. Kim, J. H. Yun, N. Kim, J. K. Pack and J. S. Lee (2011). »Effects of combined radiofrequency radiation exposure on the cell cycle and its regulatory proteins.« *Bioelectromagnetics* **32**(3): 169–178.
- Lee, S. S., H. R. Kim, M. S. Kim, S. Park, E. S. Yoon, S. H. Park and D. W. Kim (2014). »Influence of smartphone Wi-Fi signals on adipose-derived stem cells.« *J Craniofac Surg* **25**(5): 1902–1907.
- Lerchl, A., M. Klose, K. Grote, A. F. Wilhelm, O. Spathmann, T. Fiedler, J. Streckert, V. Hansen and M. Clemens (2015). »Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans.« *Biochem Biophys Res Commun* **459**(4): 585–590.
- Leung, S., R. J. Croft, R. J. McKenzie, S. Iskra, B. Silber, N. R. Cooper, B. O'Neill, V. Copley, A. Diaz-Trujillo, D. Hamblin and D. Simpson (2011). »Effects of 2G and 3G mobile phones on performance and electrophysiology in adolescents, young adults and older adults.« *Clinical Neurophysiology* **122**(11): 2203–2216.
- Levis, A. G., N. Minicuci, P. Ricci, S. Garbisa and V. Gennaro (2011). »Mobile phones and head tumours. The discrepancies in cause-effect relationships in the epidemiological studies-how do they arise?« *Environmental Health* **10**(1): 59.
- Li, C., Z. Chen, L. Yang, B. Lv, J. Liu, N. Varsier, A. Hadjem, J. Wiart, Y. Xie, L. Ma and T. Wu (2015). »Generation of infant anatomical models for evaluating electromagnetic field exposures.« *Bioelectromagnetics* **36**(1): 10–26.



- Li, C. Y., C. C. Liu, Y. H. Chang, L. P. Chou and M. C. Ko (2012). »A population-based case-control study of radiofrequency exposure in relation to childhood neoplasm.« *Sci Total Environ* **435-436**: 472–478.
- Li, W. H., Y. Z. Li, D. D. Song, X. R. Wang, M. Liu, X. D. Wu and X. H. Liu (2014). »Calreticulin protects rat microvascular endothelial cells against microwave radiation-induced injury by attenuating endoplasmic reticulum stress.« *Microcirculation* **21**(6): 506–515.
- Lilienfeld, A., J. Tonascia, S. Tonascia, C. Libauer, G. Cauthen, J. Markowitz and S. Weida »Foreign service health status study: evaluation of status of foreign service and other employees from selected Eastern European posts. Final Report, July 31, 1978.« *Contract*(6025-619073).
- Liorni, I., M. Parazzini, S. Fiocchi, M. Douglas, M. Capstick, N. Kuster and P. Ravazzani (2016). »COMPUTATIONAL ASSESSMENT OF PREGNANT WOMAN MODELS EXPOSED TO UNIFORM ELF-MAGNETIC FIELDS: COMPLIANCE WITH THE EUROPEAN CURRENT EXPOSURE REGULATIONS FOR THE GENERAL PUBLIC AND OCCUPATIONAL EXPOSURES AT 50 Hz.« *Radiat Prot Dosimetry* **172**(4): 382–392.
- Little, M. P., P. Rajaraman, R. E. Curtis, S. S. Devesa, P. D. Inskip, D. P. Check and M. S. Linet (2012). »Mobile phone use and glioma risk: comparison of epidemiological study results with incidence trends in the United States.« *Bmj* **344**: e1147.
- Liu, C., W. Duan, S. Xu, C. Chen, M. He, L. Zhang, Z. Yu and Z. Zhou (2013). »Exposure to 1800 MHz radiofrequency electromagnetic radiation induces oxidative DNA base damage in a mouse spermatocyte-derived cell line.« *Toxicol Lett* **218**(1): 2–9.
- Liu, H., G. Chen, Y. Pan, Z. Chen, W. Jin, C. Sun, C. Chen, X. Dong, K. Chen, Z. Xu, S. Zhang and Y. Yu (2014). »Occupational electromagnetic field exposures associated with sleep quality: a cross-sectional study.« *PLoS One* **9**(10): e110825.
- Liu, K., Y. Li, G. Zhang, J. Liu, J. Cao, L. Ao and S. Zhang (2014). »Association between mobile phone use and semen quality: a systemic review and meta-analysis.« *Andrology* **2**(4): 491–501.
- Liu, K., G. Zhang, Z. Wang, Y. Liu, J. Dong, X. Dong, J. Liu, J. Cao, L. Ao and S. Zhang (2014). »The protective effect of autophagy on mouse spermatocyte derived cells exposure to 1800MHz radiofrequency electromagnetic radiation.« *Toxicol Lett* **228**(3): 216–224.
- Liu, M.-L., J.-Q. Wen and Y.-B. Fan (2011). »Potential protection of green tea polyphenols against 1800 MHz electromagnetic radiation-induced injury on rat cortical neurons.« *Neurotoxicity research* **20**(3): 270–276.
- Liu, Y. X., J. L. Tai, G. Q. Li, Z. W. Zhang, J. H. Xue, H. S. Liu, H. Zhu, J. D. Cheng, Y. L. Liu, A. M. Li and Y. Zhang (2012). »Exposure to 1950-MHz

- TD-SCDMA electromagnetic fields affects the apoptosis of astrocytes via caspase-3-dependent pathway.« PLoS One **7**(8): e42332.
- Loughran, S. P., R. J. McKenzie, M. L. Jackson, M. E. Howard and R. J. Croft (2012). »Individual differences in the effects of mobile phone exposure on human sleep: rethinking the problem.« Bioelectromagnetics **33**(1): 86–93.
- Lu, Y.-S., B.-T. Huang and Y.-X. Huang (2012). »Reactive oxygen species formation and apoptosis in human peripheral blood mononuclear cell induced by 900 MHz mobile phone radiation.« Oxidative medicine and cellular longevity **2012**.
- Lu, Y., M. He, Y. Zhang, S. Xu, L. Zhang, Y. He, C. Chen, C. Liu, H. Pi, Z. Yu and Z. Zhou (2014). »Differential pro-inflammatory responses of astrocytes and microglia involve STAT3 activation in response to 1800 MHz radiofrequency fields.« PLoS One **9**(9): e108318.
- Lukac, N., P. Massanyi, S. Roychoudhury, M. Capcarova, E. Tvrda, Z. Knazicka, A. Kolesarova and J. Danko (2011). »In vitro effects of radiofrequency electromagnetic waves on bovine spermatozoa motility.« Journal of Environmental Science and Health, Part A **46**(12): 1417–1423.
- Luria, R., I. Eliyahu, R. Hareuveny, M. Margaliot and N. Meiran (2009). »Cognitive effects of radiation emitted by cellular phones: the influence of exposure side and time.« Bioelectromagnetics **30**(3): 198–204.
- Lustenberger, C., M. Murbach, R. Durr, M. R. Schmid, N. Kuster, P. Achermann and R. Huber (2013). »Stimulation of the brain with radiofrequency electromagnetic field pulses affects sleep-dependent performance improvement.« Brain Stimul **6**(5): 805–811.
- Ly, B., Z. Chen, T. Wu, Q. Shao, D. Yan, L. Ma, K. Lu and Y. Xie (2014). »The alteration of spontaneous low frequency oscillations caused by acute electromagnetic fields exposure.« Clin Neurophysiol **125**(2): 277–286.
- Mahmoudabadi, F. S., S. Ziaei, M. Firoozabadi and A. Kazemnejad (2015). »Use of mobile phone during pregnancy and the risk of spontaneous abortion.« J Environ Health Sci Eng **13**: 34.
- Malek, F., K. A. Rani, H. A. Rahim and M. H. Omar (2015). »Effect of Short-Term Mobile Phone Base Station Exposure on Cognitive Performance, Body Temperature, Heart Rate and Blood Pressure of Malaysians.« Sci Rep **5**: 13206.
- Manser, M., M. R. Sater, C. D. Schmid, F. Noreen, M. Murbach, N. Kuster, D. Schuermann and P. Schar (2017). »ELF-MF exposure affects the robustness of epigenetic programming during granulopoiesis.« Sci Rep **7**: 43345.
- Manta, A. K., D. J. Stravopodis, I. S. Papassideri and L. H. Margaritis (2014). »Reactive oxygen species elevation and recovery in *Drosophila* bodies and ovaries following short-term and long-term exposure to DECT base EMF.« Electromagnetic biology and medicine **33**(2): 118–131.



- Markakis, I. and T. Samaras (2013). »Radiofrequency exposure in Greek indoor environments.« Health Phys **104**(3): 293–301.
- Martens, A. L., J. F. B. Bolte, J. Beekhuizen, H. Kromhout, T. Smid and R. C. H. Vermeulen (2015). »Validity of at home model predictions as a proxy for personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile phone base stations.« Environmental Research **142**: 221–226.
- Martens, A. L., P. Slottje, M. Y. Meima, J. Beekhuizen, D. Timmermans, H. Kromhout, T. Smid and R. C. H. Vermeulen (2016). »Residential exposure to RF-EMF from mobile phone base stations: Model predictions versus personal and home measurements.« Science of The Total Environment **550**: 987–993.
- Martens, A. L., P. Slottje, D. R. Timmermans, H. Kromhout, M. Reedijk, R. C. Vermeulen and T. Smid (2017). »Modeled and Perceived Exposure to Radio-Frequency Electromagnetic Fields From Mobile-Phone Base Stations and the Development of Symptoms Over Time in a General Population Cohort.« Am J Epidemiol: 1–10.
- Maskey, D., H. G. Kim, M. W. Suh, G. S. Roh and M. J. Kim (2014). »Alteration of glycine receptor immunoreactivity in the auditory brainstem of mice following three months of exposure to radiofrequency radiation at SAR 4.0 W/kg.« Int J Mol Med **34**(2): 409–419.
- Maskey, D., H. J. Kim, H. G. Kim and M. J. Kim (2012). »Calcium-binding proteins and GFAP immunoreactivity alterations in murine hippocampus after 1 month of exposure to 835 MHz radiofrequency at SAR values of 1.6 and 4.0 W/kg.« Neurosci Lett **506**(2): 292–296.
- Maskey, D., M. Kim, B. Aryal, J. Pradhan, I. Y. Choi, K. S. Park, T. Son, S. Y. Hong, S. B. Kim, H. G. Kim and M. J. Kim (2010). »Effect of 835 MHz radiofrequency radiation exposure on calcium binding proteins in the hippocampus of the mouse brain.« Brain Res **1313**: 232–241.
- Maskey, D., J. Pradhan, B. Aryal, C. M. Lee, I. Y. Choi, K. S. Park, S. B. Kim, H. G. Kim and M. J. Kim (2010). »Chronic 835-MHz radiofrequency exposure to mice hippocampus alters the distribution of calbindin and GFAP immunoreactivity.« Brain Res **1346**: 237–246.
- Masuda, H., S. Hirota, A. Ushiyama, A. Hirata, T. Arima, H. Kawai, K. Wake, S. Watanabe, M. Taki, A. Nagai and C. Ohkubo (2015). »No Dynamic Changes in Blood-brain Barrier Permeability Occur in Developing Rats During Local Cortex Exposure to Microwaves.« In Vivo **29**(3): 351–357.
- Masuda, H., S. Hirota, A. Ushiyama, A. Hirata, T. Arima, H. Kawai, K. Wake, S. Watanabe, M. Taki, A. Nagai and C. Ohkubo (2015). »No Dynamic Changes in Inflammation-related Microcirculatory Parameters in Developing Rats During Local Cortex Exposure to Microwaves.« In Vivo **29**(5): 561–567.

- Masuda, H., A. Ushiyama, M. Takahashi, J. Wang, O. Fujiwara, T. Hikage, T. Nojima, K. Fujita, M. Kudo and C. Ohkubo (2009). »Effects of 915 MHz electromagnetic-field radiation in TEM cell on the blood-brain barrier and neurons in the rat brain.« Radiat Res **172**(1): 66–73.
- McCarthy, D. E., S. Carrubba, A. L. Chesson, C. Frilot, E. Gonzalez-Toledo and A. A. Marino (2011). »Electromagnetic hypersensitivity: evidence for a novel neurological syndrome.« Int J Neurosci **121**(12): 670–676.
- McNamee, J. P. and V. Chauhan (2009). »Radiofrequency radiation and gene/protein expression: a review.« Radiat Res **172**(3): 265–287.
- McQuade, J. M., J. H. Merritt, S. A. Miller, T. Scholin, M. C. Cook, A. Salazar, O. B. Rahimi, M. R. Murphy and P. A. Mason (2009). »Radiofrequency-radiation exposure does not induce detectable leakage of albumin across the blood-brain barrier.« Radiat Res **171**(5): 615–621.
- Meg Tseng, M. C., Y. P. Lin and T. J. Cheng (2011). »Prevalence and psychiatric comorbidity of self-reported electromagnetic field sensitivity in Taiwan: a population-based study.« J Formos Med Assoc **110**(10): 634–641.
- Megha, K., P. S. Deshmukh, B. D. Banerjee, A. K. Tripathi and M. P. Abegaonkar (2012). »Microwave radiation induced oxidative stress, cognitive impairment and inflammation in brain of Fischer rats.« Indian J Exp Biol **50**(12): 889–896.
- Meo, S. A. and K. Al Rubeaan (2013). »Effects of exposure to electromagnetic field radiation (EMFR) generated by activated mobile phones on fasting blood glucose.« Int J Occup Med Environ Health **26**(2): 235–241.
- Meral, I., Y. Tekintangac and H. Demir (2014). »Effects of 900 MHz electromagnetic field emitted by cellular phones on electrocardiograms of guinea pigs.« Hum Exp Toxicol **33**(2): 164–169.
- Merhi, Z. O. (2012). »Challenging cell phone impact on reproduction: a review.« J Assist Reprod Genet **29**(4): 293–297.
- Milham, S. and D. Stetzer (2013). »Dirty electricity, chronic stress, neurotransmitters and disease.« Electromagn Biol Med **32**(4): 500–507.
- Moon, I. S., B. G. Kim, J. Kim, J. D. Lee and W. S. Lee (2014). »Association between vestibular schwannomas and mobile phone use.« Tumour Biol **35**(1): 581–587.
- Moquet, J., E. Ainsbury, S. Bouffler and D. Lloyd (2008). »Exposure to low level GSM 935 MHz radiofrequency fields does not induce apoptosis in proliferating or differentiated murine neuroblastoma cells.« Radiat Prot Dosimetry **131**(3): 287–296.
- Moretti, D., A. Garenne, E. Haro, F. Poullietier de Gannes, I. Lagroye, P. Leveque, B. Veyret and N. Lewis (2013). »In-vitro exposure of neuronal networks to the GSM-1800 signal.« Bioelectromagnetics **34**(8): 571–578.
- Mornet, E., R. Kania, E. Sauvaget, P. Herman and P. Tran Ba Huy (2013). »Vestibular schwannoma and cell-phones. Results, limits and perspectives of



- clinical studies.« Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis **130**(5): 275–282.
- Mortazavi, S. M., A. Mahbudi, M. Atefi, S. Bagheri, N. Bahaedini and A. Besharati (2011). »An old issue and a new look: electromagnetic hypersensitivity caused by radiations emitted by GSM mobile phones.« Technol Health Care **19**(6): 435–443.
- Mortazavi, S. M., S. Rahimi, A. Talebi, A. Soleimani and A. Rafati (2015). »Survey of the Effects of Exposure to 900 MHz Radiofrequency Radiation Emitted by a GSM Mobile Phone on the Pattern of Muscle Contractions in an Animal Model.« J Biomed Phys Eng **5**(3): 121–132.
- Mortazavi, S. M., M. S. Rouintan, S. Taeb, N. Dehghan, A. A. Ghaffarpanah, Z. Sadeghi and F. Ghafouri (2012). »Human short-term exposure to electromagnetic fields emitted by mobile phones decreases computer-assisted visual reaction time.« Acta Neurol Belg **112**(2): 171–175.
- Mortazavi, S. M., K. R. Shirazi and G. Mortazavi (2013). »The study of the effects of ionizing and non-ionizing radiations on birth weight of newborns to exposed mothers.« J Nat Sci Biol Med **4**(1): 213–217.
- Mortazavi, S. M., S. Vazife-Doost, M. Yaghooti, S. Mehdizadeh and A. Rajaie-Far (2012). »Occupational exposure of dentists to electromagnetic fields produced by magnetostrictive cavitrons alters the serum cortisol level.« J Nat Sci Biol Med **3**(1): 60–64.
- Motawi, T. K., H. A. Darwish, Y. M. Moustafa and M. M. Labib (2014). »Biochemical modifications and neuronal damage in brain of young and adult rats after long-term exposure to mobile phone radiations.« Cell Biochem Biophys **70**(2): 845–855.
- Movvahedi, M. M., A. Tavakkoli-Golpayegani, S. A. Mortazavi, M. Haghani, Z. Razi, M. B. Shojaie-Fard, M. Zare, E. Mina, L. Mansourabadi, J. Nazari, A. Safari, N. Shokrpour and S. M. Mortazavi (2014). »Does exposure to GSM 900 MHz mobile phone radiation affect short-term memory of elementary school students?« J Pediatr Neurosci **9**(2): 121–124.
- Munezawa, T., Y. Kaneita, Y. Osaki, H. Kanda, M. Minowa, K. Suzuki, S. Higuchi, J. Mori, R. Yamamoto and T. Ohida (2011). »The association between use of mobile phones after lights out and sleep disturbances among Japanese adolescents: a nationwide cross-sectional survey.« Sleep **34**(8): 1013–1020.
- Nakatani-Enomoto, S., T. Furubayashi, A. Ushiyama, S. J. Groiss, K. Ueshima, S. Sokejima, A. Y. Simba, K. Wake, S. Watanabe, M. Nishikawa, K. Miyawaki, M. Taki and Y. Ugawa (2013). »Effects of electromagnetic fields emitted from W-CDMA-like mobile phones on sleep in humans.« Bioelectromagnetics **34**(8): 589–598.

- Nam, K. C., J. H. Lee, H. W. Noh, E. J. Cha, N. H. Kim and D. W. Kim (2009). »Hypersensitivity to RF fields emitted from CDMA cellular phones: a provocation study.« Bioelectromagnetics **30**(8): 641–650.
- Narayanan, S. N., R. S. Kumar, K. M. Karun, S. B. Nayak and P. G. Bhat (2015). »Possible cause for altered spatial cognition of prepubescent rats exposed to chronic radiofrequency electromagnetic radiation.« Metab Brain Dis **30**(5): 1193–1206.
- Narayanan, S. N., R. S. Kumar, J. Pavai, V. Kedage, M. S. Bhat, S. Nayak and P. G. Bhat (2013). »Analysis of emotionality and locomotion in radio-frequency electromagnetic radiation exposed rats.« Neurol Sci **34**(7): 1117–1124.
- Narayanan, S. N., R. S. Kumar, B. K. Potu, S. Nayak, P. G. Bhat and M. Mailankot (2010). »Effect of radio-frequency electromagnetic radiations (RF-EMR) on passive avoidance behaviour and hippocampal morphology in Wistar rats.« Ups J Med Sci **115**(2): 91–96.
- Narayanan, S. N., R. S. Kumar, B. K. Potu, S. Nayak and M. Mailankot (2009). »Spatial memory performance of Wistar rats exposed to mobile phone.« Clinics (Sao Paulo) **64**(3): 231–234.
- Naziroglu, M., F. F. Ozkan, S. R. Hapil, V. Ghazizadeh and B. Cig (2015). »Epilepsy but not mobile phone frequency (900 MHz) induces apoptosis and calcium entry in hippocampus of epileptic rat: involvement of TRPV1 channels.« J Membr Biol **248**(1): 83–91.
- Negovetic, S. and S. Regel (2011). Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit. Bern, Schweizerischer Nationalfonds.
- Ng, T. P., M. L. Lim, M. Niti and S. Collinson (2012). »Long-term digital mobile phone use and cognitive decline in the elderly.« Bioelectromagnetics **33**(2): 176–185.
- Ni, S., Y. Yu, Y. Zhang, W. Wu, K. Lai and K. Yao (2013). »Study of oxidative stress in human lens epithelial cells exposed to 1.8 GHz radiofrequency fields.« PLoS One **8**(8): e72370.
- Nielsen, J. Ø., J. B. Andersen, G. F. Pedersen and M. Pelosi (2011). On Polarization and Frequency Dependence of Diffuse Indoor Propagation. 2011 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall).
- Noor, N. A., H. S. Mohammed, N. A. Ahmed and N. M. Radwan (2011). »Variations in amino acid neurotransmitters in some brain areas of adult and young male albino rats due to exposure to mobile phone radiation.« Eur Rev Med Pharmacol Sci **15**(7): 729–742.
- Ntzouni, M., A. Stamatakis, F. Stylianopoulou and L. Margaritis (2011). »Short-term memory in mice is affected by mobile phone radiation.« Pathophysiology **18**(3): 193–199.
- Odaci, E. and C. Ozyilmaz (2015). »Exposure to a 900 MHz electromagnetic field for 1 hour a day over 30 days does change the histopathology and biochemistry of the rat testis.« Int J Radiat Biol **91**(7): 547–554.



- Ohtani, S., A. Ushiyama, M. Maeda, Y. Ogasawara, J. Wang, N. Kunugita and K. Ishii (2015). »The effects of radio-frequency electromagnetic fields on T cell function during development.« J Radiat Res **56**(3): 467–474.
- Okano, T., Y. Terao, T. Furubayashi, A. Yugeta, R. Hanajima and Y. Ugawa (2010). »The effect of electromagnetic field emitted by a mobile phone on the inhibitory control of saccades.« Clin Neurophysiol **121**(4): 603–611.
- Otitolaju, A. A., I. A. Obe, O. A. Adewale, O. A. Otubanjo and V. O. Osunkalu (2010). »Preliminary study on the induction of sperm head abnormalities in mice, *Mus musculus*, exposed to radiofrequency radiations from global system for mobile communication base stations.« Bull Environ Contam Toxicol **84**(1): 51–54.
- Ozgur, A., L. Tumkaya, S. Terzi, Y. Kalkan, O. C. Erdivanli and E. Dursun (2015). »Effects of chronic exposure to electromagnetic waves on the auditory system.« Acta Otolaryngol **135**(8): 765–770.
- Ozgur, E., G. Guler, G. Kismali and N. Seyhan (2014). »Mobile phone radiation alters proliferation of hepatocarcinoma cells.« Cell Biochem Biophys **70**(2): 983–991.
- Ozgur, E., G. Guler and N. Seyhan (2010). »Mobile phone radiation-induced free radical damage in the liver is inhibited by the antioxidants N-acetyl cysteine and epigallocatechin-gallate.« Int J Radiat Biol **86**(11): 935–945.
- Ozgur, E., G. Kismali, G. Guler, A. Akcay, G. Ozkurt, T. Sel and N. Seyhan (2013). »Effects of prenatal and postnatal exposure to gsm-like radiofrequency on blood chemistry and oxidative stress in infant rabbits, an experimental study.« Cell biochemistry and biophysics **67**(2): 743–751.
- Ozorak, A., M. Naziroglu, O. Celik, M. Yuksel, D. Ozcelik, M. O. Ozkaya, H. Cetin, M. C. Kahya and S. A. Kose (2013). »Wi-Fi (2.45 GHz)- and mobile phone (900 and 1800 MHz)-induced risks on oxidative stress and elements in kidney and testis of rats during pregnancy and the development of offspring.« Biol Trace Elem Res **156**(1-3): 221–229.
- Panagopoulos, D. J. (2012). »Effect of microwave exposure on the ovarian development of *Drosophila melanogaster*.« Cell biochemistry and biophysics **63**(2): 121–132.
- Panda, N. K., R. Jain, J. Bakshi and S. Munjal (2010). »Audiologic disturbances in long-term mobile phone users.« J Otolaryngol Head Neck Surg **39**(1): 5–11.
- Panda, N. K., R. Modi, S. Munjal and R. S. Virk (2011). »Auditory changes in mobile users: is evidence forthcoming?« Otolaryngol Head Neck Surg **144**(4): 581–585.
- Parham, F., C. J. Portier, X. Chang and M. Mevissen (2016). »The Use of Signal-Transduction and Metabolic Pathways to Predict Human Disease Targets from Electric and Magnetic Fields Using in vitro Data in Human Cell Lines.« Frontiers in Public Health **4**: 193.

- Paulraj, R. and J. Behari (2011). »Effects of low level microwave radiation on carcinogenesis in Swiss Albino mice.« Molecular and cellular biochemistry **348**(1-2): 191–197.
- Paulraj, R. and J. Behari (2012). »Biochemical changes in rat brain exposed to low intensity 9.9 GHz microwave radiation.« Cell Biochem Biophys **63**(1): 97–102.
- Perentos, N., R. J. Croft, R. J. McKenzie and I. Cosic (2013). »The alpha band of the resting electroencephalogram under pulsed and continuous radio frequency exposures.« IEEE Trans Biomed Eng **60**(6): 1702–1710.
- Peres, J. (2010). »One conclusion emerges from Interphone study: controversy will continue.« J Natl Cancer Inst **102**(13): 928–931.
- Petitdant, N., A. Lecomte, F. Robidel, C. Gamez, K. Blazy and A. S. Villegier (2016). »Cerebral radiofrequency exposures during adolescence: Impact on astrocytes and brain functions in healthy and pathologic rat models.« Bioelectromagnetics **37**(5): 338–350.
- Pettersson, D. and M. Feychting (2014). »The authors respond.« Epidemiology **25**(5): 778–779.
- Pettersson, D., T. Mathiesen, M. Prochazka, T. Bergenheim, R. Florentzson, H. Harder, G. Nyberg, P. Siesjo and M. Feychting (2014). »Long-term mobile phone use and acoustic neuroma risk.« Epidemiology **25**(2): 233–241.
- Phan-Huy, D. T., Y. Kokar, T. Sarrebourg, N. Malhouroux-Gaffet, P. Pajusco, C. Leray, A. Gati and J. Wiart (2014). On the human exposure to radio frequency radiations expected from future small connected objects. 2014 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps).
- Plets, D., W. Joseph, S. Aerts, K. Vanhecke, G. Vermeeren and L. Martens (2014b). »Prediction and comparison of downlink electric-field and uplink localised SAR values for realistic indoor wireless planning.« Radiat Prot Dosimetry **162**(4): 487–498.
- Plets, D., W. Joseph, S. Aerts, G. Vermeeren, N. Varsier, J. Wiart and L. Martens (2015b). »Assessment of contribution of other users to own total whole-body RF absorption in train environment.« Bioelectromagnetics **36**(8): 597–602.
- Plets, D., W. Joseph, K. Vanhecke, G. Vermeeren, S. Aerts, M. Deruyck and L. Martens (2014a). Whole-body and localized SAR and dose prediction tool for indoor wireless network deployments. 2014 11th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS).
- Plets, D., W. Joseph, K. Vanhecke, G. Vermeeren, J. Wiart, S. Aerts, N. Varsier and L. Martens (2015a). »Joint minimization of uplink and downlink whole-body exposure dose in indoor wireless networks.« Biomed Res Int **2015**: 943415.
- Popović, M., M. Koprivica, S. Nikšić, J. Milinković and A. Nešković (2014). Methodology for the comparison of cellular technologies and services with



- respect to EMF exposure. 2014 22nd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR).
- Popović, M., M. Tesanovic and B. Radier (2014). Strategies for reducing the global EMF exposure: Cellular operators perspective. 2014 11th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS).
- Rafati, A., S. Rahimi, A. Talebi, A. Soleimani, M. Haghani and S. M. Mortazavi (2015). »Exposure to Radiofrequency Radiation Emitted from Common Mobile Phone Jammers Alters the Pattern of Muscle Contractions: an Animal Model Study.« J Biomed Phys Eng **5**(3): 133–142.
- Ragbetli, M. C., A. Aydinlioglu, N. Koyun, C. Ragbetli, S. Bektas and S. Ozdemir (2010). »The effect of mobile phone on the number of Purkinje cells: a stereological study.« Int J Radiat Biol **86**(7): 548–554.
- Ragbetli, M. C., A. Aydinlioglu, N. Koyun, C. Ragbetli and M. Karayel (2009). »Effect of prenatal exposure to mobile phone on pyramidal cell numbers in the mouse hippocampus: a stereological study.« Int J Neurosci **119**(7): 1031–1041.
- Ragy, M. M. (2015). »Effect of exposure and withdrawal of 900-MHz-electromagnetic waves on brain, kidney and liver oxidative stress and some biochemical parameters in male rats.« Electromagn Biol Med **34**(4): 279–284.
- Redmayne, M. (2013). »New Zealand adolescents' cellphone and cordless phone user-habits: are they at increased risk of brain tumours already? A cross-sectional study.« Environ Health **12**: 5.
- Redmayne, M., E. Smith and M. J. Abramson (2013). »The relationship between adolescents' well-being and their wireless phone use: a cross-sectional study.« Environ Health **12**: 90.
- Regel, S. J., S. Negovetic, M. Roosli, V. Berdinas, J. Schuderer, A. Huss, U. Lott, N. Kuster and P. Achermann (2006). »UMTS base station-like exposure, well-being, and cognitive performance.« Environ Health Perspect **114**(8): 1270–1275.
- Roser, K., A. Schoeni, A. Bürgi and M. Rösli (2015). »Development of an RF-EMF Exposure Surrogate for Epidemiologic Research.« Int J Environ Res Public Health **12**(5): 5634–5656.
- Rubin, G. J., A. J. Cleare and S. Wessely (2012). »Letter to the editor: electromagnetic hypersensitivity.« Int J Neurosci **122**(7): 401; author reply 402–403; discussion 404.
- Rubin, G. J., A. J. Cleare and S. Wessely (2012). »Right to reply: correspondence about electromagnetic hypersensitivity.« International Journal of Neuroscience **122**(7): 404–404.
- Rubin, G. J., R. Nieto-Hernandez and S. Wessely (2010). »Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (formerly

- »electromagnetic hypersensitivity«): An updated systematic review of provocation studies.« Bioelectromagnetics **31**(1): 1–11.
- Sadetzki, S., C. E. Langer, R. Bruchim, M. Kundi, F. Merletti, R. Vermeulen, H. Kromhout, A. K. Lee, M. Maslanyj, M. R. Sim, M. Taki, J. Wiart, B. Armstrong, E. Milne, G. Benke, R. Schattner, H. P. Hutter, A. Woehrer, D. Krewski, C. Mohipp, F. Momoli, P. Ritvo, J. Spinelli, B. Lacour, D. Delmas, T. Remen, K. Radon, T. Weinmann, S. Klostermann, S. Heinrich, E. Petridou, E. Bouka, P. Panagopoulou, R. Dikshit, R. Nagrani, H. Even-Nir, A. Chetrit, M. Maule, E. Migliore, G. Filippini, L. Miligi, S. Mattioli, N. Yamaguchi, N. Kojimahara, M. Ha, K. H. Choi, A. Mannetje, A. Eng, A. Woodward, G. Carretero, J. Alguacil, N. Aragonés, M. M. Suàre-Varela, G. Goedhart, A. A. Schouten-van Meeteren, A. A. Reedijk and E. Cardis (2014). »The MOBI-Kids Study Protocol: Challenges in Assessing Childhood and Adolescent Exposure to Electromagnetic Fields from Wireless Telecommunication Technologies and Possible Association with Brain Tumor Risk.« Front Public Health **2**: 124.
- Sahin, A., A. Aslan, O. Bas, A. İkinci, C. Ozyilmaz, O. F. Sonmez, S. Colakoglu and E. Odaci (2015). »Deleterious impacts of a 900-MHz electromagnetic field on hippocampal pyramidal neurons of 8-week-old Sprague Dawley male rats.« Brain Res **1624**: 232–238.
- Saikhedkar, N., M. Bhatnagar, A. Jain, P. Sukhwai, C. Sharma and N. Jaiswal (2014). »Effects of mobile phone radiation (900 MHz radiofrequency) on structure and functions of rat brain.« Neurol Res **36**(12): 1072–1079.
- Salama, N., T. Kishimoto, H. O. Kanayama and S. Kagawa (2009). »The mobile phone decreases fructose but not citrate in rabbit semen: a longitudinal study.« Syst Biol Reprod Med **55**(5-6): 181–187.
- Salunke, B. P., S. N. Umathe and J. G. Chavan (2015). »Behavioral ineffectiveness of high frequency electromagnetic field in mice.« Physiol Behav **140**: 32–37.
- Sambo, Y. A., F. Hélot and M. A. Imran (2015). »A Survey and Tutorial of Electromagnetic Radiation and Reduction in Mobile Communication Systems.« IEEE Communications Surveys & Tutorials **17**(2): 790-802.
- Saravi, F. D. (2011). »Asymmetries in hip mineralization in mobile cellular phone users.« J Craniofac Surg **22**(2): 706–710.
- Sarrebourg, T., L. R. d. Lope, A. Hadjem, L. F. Diez, S. M. Anwar, R. Agüero, Y. Toulain and J. Wian (2014). Towards EMF exposure assessment over real cellular networks: An experimental study based on complementary tools. 2014 11th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS).
- Sato, Y., S. Akiba, O. Kubo and N. Yamaguchi (2011). »A case-case study of mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan.« Bioelectromagnetics **32**(2): 85–93.



- SCENIHR (2015). Potential Health Effects of Exposure to Electromagnetic Fields (EMF). Brussels, European Commission, DG Health and Food Safety, Unit C2.
- Schmid, G. and N. Kuster (2015). »The discrepancy between maximum in vitro exposure levels and realistic conservative exposure levels of mobile phones operating at 900/1800 MHz.« *Bioelectromagnetics* **36**(2): 133–148.
- Schoemaker, M. J. and A. J. Swerdlow (2009). »Risk of pituitary tumors in cellular phone users: a case-control study.« *Epidemiology* **20**(3): 348–354.
- Seawind (2013). »Sound Exposure & Risk Assessment of Wireless Network Devices (SEAWIND). FP7-ENV-2009-1 Final Summary Report.« *Research Report*: 1–44.
- Seckin, E., F. Suren Basar, S. Atmaca, F. F. Kaymaz, A. Suzer, A. Akar, E. Sunan and M. Koyuncu (2014). »The effect of radiofrequency radiation generated by a Global System for Mobile Communications source on cochlear development in a rat model.« *J Laryngol Otol* **128**(5): 400–405.
- Sefidbakht, Y., A. A. Moosavi-Movahedi, S. Hosseinkhani, F. Khodagholi, M. Torkzadeh-Mahani, F. Foolad and R. Faraji-Dana (2014). »Effects of 940 MHz EMF on bioluminescence and oxidative response of stable luciferase producing HEK cells.« *Photochem Photobiol Sci* **13**(7): 1082–1092.
- Sehitoglu, I., L. Tumkaya, Y. Kalkan, R. Bedir, M. C. Cure, O. U. Zorba, E. Cure and S. Yuce (2015). »Biochemical and histopathological effects on the rat testis after exposure to electromagnetic field during fetal period.« *Arch Esp Urol* **68**(6): 562–568.
- Şekeroğlu, V., A. Akar and Z. A. Şekeroğlu (2012). »Cytotoxic and genotoxic effects of high-frequency electromagnetic fields (GSM 1800MHz) on immature and mature rats.« *Ecotoxicology and environmental safety* **80**: 140–144.
- Sekijima, M., H. Takeda, K. Yasunaga, N. Sakuma, H. Hirose, T. Nojima and J. Miyakoshi (2010). »2-GHz band CW and W-CDMA modulated radiofrequency fields have no significant effect on cell proliferation and gene expression profile in human cells.« *J Radiat Res* **51**(3): 277–284.
- Sevi, E. C., P. S. Kumar and Y. Mariam (2014). »Assessment of auditory evoked potential in long-term mobile phone users.« *Indian J Physiol Pharmacol* **58**(4): 437–440.
- Seydnour, R. and V. Chekaniazar (2011). »Effects of Exposure to Cellular Phones 950 MHz Electromagnetic Fields on Progesterone, Cortisol and Glucose Level in Female Hamsters (*Mesocricetus auratus*).« *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* **6**(11): 1084–1088.
- Shah, S. G. and A. Farrow (2014). »Systematic literature review of adverse reproductive outcomes associated with physiotherapists' occupational exposures to non-ionising radiation.« *J Occup Health* **56**(5): 323–331.

- Shahbazi-Gahrouei, D., M. Karbalae, H. A. Moradi and M. Baradaran-Ghahfarokhi (2014). »Health effects of living near mobile phone base transceiver station (BTS) antennae: a report from Isfahan, Iran.« Electromagn Biol Med **33**(3): 206–210.
- Shahin, S., V. Mishra, S. P. Singh and C. M. Chaturvedi (2014). »2.45-GHz microwave irradiation adversely affects reproductive function in male mouse, *Mus musculus* by inducing oxidative and nitrosative stress.« Free Radic Res **48**(5): 511–525.
- Shahin, S., V. P. Singh, R. K. Shukla, A. Dhawan, R. K. Gangwar, S. P. Singh and C. M. Chaturvedi (2013). »2.45 GHz microwave irradiation-induced oxidative stress affects implantation or pregnancy in mice, *Mus musculus*.« Applied biochemistry and biotechnology **169**(5): 1727–1751.
- Shirai, T., N. Imai, J. Wang, S. Takahashi, M. Kawabe, K. Wake, H. Kawai, S. Watanabe, F. Furukawa and O. Fujiwara (2014). »Multigenerational effects of whole body exposure to 2.14 GHz W-CDMA cellular phone signals on brain function in rats.« Bioelectromagnetics **35**(7): 497–511.
- Shivashankara, A. R., J. Joy, V. Sunitha, M. P. Rai, S. Rao, S. Nambranathayil and M. S. Baliga (2015). »Effect of cell phone use on salivary total protein, enzymes and oxidative stress markers in young adults: a pilot study.« J Clin Diagn Res **9**(2): Bc19–22.
- Shokri, S., A. Soltani, M. Kazemi, D. Sardari and F. B. Mofrad (2015). »Effects of Wi-Fi (2.45 GHz) Exposure on Apoptosis, Sperm Parameters and Testicular Histomorphometry in Rats: A Time Course Study.« Cell J **17**(2): 322–331.
- Sienkiewicz, Z., J. Schüz, A. H. Poulsen and E. Cardis (2012). »European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure (EFHRAN): D 2 – Report – risk analysis of human exposure to electromagnetic fields. (revised).« European Commission: 1–28.
- Sieron-Stoltny, K., L. Teister, G. Cieslar, D. Sieron, Z. Sliwinski, M. Kucharzewski and A. Sieron (2015). »The influence of electromagnetic radiation generated by a mobile phone on the skeletal system of rats.« Biomed Res Int **2015**: 896019.
- Simko, M., D. Remondini, O. Zeni and M. R. Scarfi (2016). »Quality Matters: Systematic Analysis of Endpoints Related to »Cellular Life« in Vitro Data of Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure.« Int J Environ Res Public Health **13**(7).
- Singh, H. P., V. P. Sharma, D. R. Batish and R. K. Kohli (2012). »Cell phone electromagnetic field radiations affect rhizogenesis through impairment of biochemical processes.« Environmental monitoring and assessment **184**(4): 1813–1821.



- Sinha, R. K. (2008). »Chronic non-thermal exposure of modulated 2450 MHz microwave radiation alters thyroid hormones and behavior of male rats.« *International journal of radiation biology* **84**(6): 505–513.
- Sirav, B. and N. Seyhan (2011). »Effects of radiofrequency radiation exposure on blood-brain barrier permeability in male and female rats.« *Electromagn Biol Med* **30**(4): 253–260.
- Slottje, P., I. van Moorselaar, R. van Strien, R. Vermeulen, H. Kromhout and A. Huss (2017). »Electromagnetic hypersensitivity (EHS) in occupational and primary health care: A nation-wide survey among general practitioners, occupational physicians and hygienists in the Netherlands.« *Int J Hyg Environ Health* **220**(2 Pt B): 395–400.
- Soubere Mahamoud, Y., M. Aite, C. Martin, M. Zhadobov, R. Sauleau, Y. Le Drian and D. Habauzit (2016). »Additive Effects of Millimeter Waves and 2-Deoxyglucose Co-Exposure on the Human Keratinocyte Transcriptome.« *PLoS One* **11**(8): e0160810.
- SSK (2011). Biologische Auswirkungen des Mobilfunks, Gesamtschau. Bonn, Strahlenschutzkommission.
- SSK (2011). Vergleichende Bewertung der Evidenz von Krebsrisiken durch elektromagnetische Felder und Strahlungen. Bonn, SSK.
- SSM (2016). Recent Research on EMF and Health Risk – Eleventh report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2016. Stockholm, Swedish Radiation Safety Authority: 112.
- Sudan, M., L. Kheifets, O. Arah, J. Olsen and L. Zeltzer (2012). »Prenatal and Postnatal Cell Phone Exposures and Headaches in Children.« *Open Pediatr Med Journal* **6**(2012): 46–52.
- Sudan, M., L. Kheifets, O. A. Arah and J. Olsen (2013). »Cell phone exposures and hearing loss in children in the Danish National Birth Cohort.« *Paediatr Perinat Epidemiol* **27**(3): 247–257.
- Sudan, M., L. Kheifets, O. A. Arah and J. Olsen (2013). »On the association of cell phone exposure with childhood behaviour.« *J Epidemiol Community Health* **67**(11): 979.
- Sun, J. W., X. R. Li, H. Y. Gao, J. Y. Yin, Q. Qin, S. F. Nie and S. Wei (2013). »Electromagnetic field exposure and male breast cancer risk: a meta-analysis of 18 studies.« *Asian Pac J Cancer Prev* **14**(1): 523–528.
- Suresh, S., C. Sabanayagam, S. Kalidindi and A. Shankar (2011). »Cell-phone use and self-reported hypertension: national health interview survey 2008.« *Int J Hypertens* **2011**: 360415.
- Swerdlow, A. J., M. Feychting, A. C. Green, L. K. Leeka Kheifets and D. A. Savitz (2011). »Mobile phones, brain tumors, and the interphone study: where are we now?« *Environ Health Perspect* **119**(11): 1534–1538.
- Takahashi, S., N. Imai, K. Nabae, K. Wake, H. Kawai, J. Wang, S. Watanabe, M. Kawabe, O. Fujiwara, K. Ogawa, S. Tamano and T. Shirai (2010). »Lack of

- adverse effects of whole-body exposure to a mobile telecommunication electromagnetic field on the rat fetus.« Radiat Res **173**(3): 362–372.
- Takebayashi, T., N. Varsier, Y. Kikuchi, K. Wake, M. Taki, S. Watanabe, S. Akiba and N. Yamaguchi (2008). »Mobile phone use, exposure to radiofrequency electromagnetic field, and brain tumour: a case-control study.« Br J Cancer **98**(3): 652–659.
- Tang, J., Y. Zhang, L. Yang, Q. Chen, L. Tan, S. Zuo, H. Feng, Z. Chen and G. Zhu (2015). »Exposure to 900 MHz electromagnetic fields activates the mkip-1/ERK pathway and causes blood-brain barrier damage and cognitive impairment in rats.« Brain Res **1601**: 92–101.
- Tas, M., S. Dasdag, M. Z. Akdag, U. Cirit, K. Yegin, U. Seker, M. F. Ozmen and L. B. Eren (2014). »Long-term effects of 900 MHz radiofrequency radiation emitted from mobile phone on testicular tissue and epididymal semen quality.« Electromagn Biol Med **33**(3): 216–222.
- Technopolis (2015). Programme evaluation Electromagnetic Fields & Health (EMF&H). Amsterdam, Technopolis GrouS.
- Tell, R. A., R. Kavet and G. Mezei (2013). »Characterization of radiofrequency field emissions from smart meters.« J Expo Sci Environ Epidemiol **23**(5): 549–553.
- Tell, R. A., G. G. Sias, A. Vazquez, J. Sahl, J. P. Turman, R. I. Kavet and G. Mezei (2012). »Radiofrequency fields associated with the Itron smart meter.« Radiat Prot Dosimetry **151**(1): 17–29.
- Tesanovic, M., E. Conil, A. D. Domenico, R. Aguerro, F. Freudenstein, L. M. Correia, S. Bories, L. Martens, P. M. Wiedemann and J. Wiart (2014). »The LEXNET Project: Wireless Networks and EMF: Paving the Way for Low-EMF Networks of the Future.« IEEE Vehicular Technology Magazine **9**(2): 20–28.
- Thomas, S., G. Benke, C. Dimitriadis, I. Inyang, M. R. Sim, R. Wolfe, R. J. Croft and M. J. Abramson (2010). »Use of mobile phones and changes in cognitive function in adolescents.« Occup Environ Med **67**(12): 861–866.
- Tillmann, T., H. Ernst, J. Streckert, Y. Zhou, F. Taugner, V. Hansen and C. Dasenbrock (2010). »Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model.« International Journal of Radiation Biology **86**(7): 529–541.
- Trosic, I., I. Pavicic, S. Milkovic-Kraus, M. Mladinic and D. Zeljezic (2011). »Effect of electromagnetic radiofrequency radiation on the rats' brain, liver and kidney cells measured by comet assay.« Coll Antropol **35**(4): 1259–1264.
- Tseng, M. C., Y. P. Lin, F. C. Hu and T. J. Cheng (2013). »Risks perception of electromagnetic fields in Taiwan: the influence of psychopathology and the degree of sensitivity to electromagnetic fields.« Risk Anal **33**(11): 2002–2012.



- Tumkaya, L., Y. Kalkan, O. Bas and A. Yilmaz (2016). »Mobile phone radiation during pubertal development has no effect on testicular histology in rats.« *Toxicol Ind Health* **32**(2): 328–336.
- Umur, A. S., C. Yaldiz, A. Bursali, N. Umur, B. Kara, M. Barutcuoglu, S. Vatansever, D. Selcuki and M. Selcuki (2013). »Evaluation of the effects of mobile phones on the neural tube development of chick embryos.« *Turkish neurosurgery* **23**(6): 742–752.
- Urbiniello, D., A. Huss, J. Beekhuizen, R. Vermeulen and M. Rösli (2014). »Use of portable exposure meters for comparing mobile phone base station radiation in different types of areas in the cities of Basel and Amsterdam.« *Science of The Total Environment* **468**: 1028–1033.
- van Moorselaar, I., P. Slottje, P. Heller, R. van Strien, H. Kromhout, M. Murbach, N. Kuster, R. Vermeulen and A. Huss (2017). »Effects of personalised exposure on self-rated electromagnetic hypersensitivity and sensibility – A double-blind randomised controlled trial.« *Environ Int* **99**: 255–262.
- van Wel, L., A. Huss, P. Bachmann, M. Zahner, H. Kromhout, J. Frohlich and R. Vermeulen (2017). »Context-sensitive ecological momentary assessments; integrating real-time exposure measurements, data-analytics and health assessment using a smartphone application.« *Environ Int* **103**: 8–12.
- van Wel, L., R. Vermeulen, M. van Eijsden, T. Vrijkotte, H. Kromhout and A. Huss (2017). »Radiofrequency exposure levels in Amsterdam schools.« *Bioelectromagnetics* **38**(5): 397–400.
- Vanderwaal, R. P., B. Cha, E. G. Moros and J. L. Roti Roti (2006). »HSP27 phosphorylation increases after 45 degrees C or 41 degrees C heat shocks but not after non-thermal TDMA or GSM exposures.« *Int J Hyperthermia* **22**(6): 507–519.
- Varsier, N., D. Plets, Y. Corre, G. Vermeeren, W. Joseph, S. Aerts, L. Martens and J. Wiart (2015). »A novel method to assess human population exposure induced by a wireless cellular network.« *Bioelectromagnetics* **36**(6): 451–463.
- Vecchio, F., P. Buffo, S. Sergio, D. Iacoviello, P. M. Rossini and C. Babiloni (2012). »Mobile phone emission modulates event-related desynchronization of alpha rhythms and cognitive–motor performance in healthy humans.« *Clinical Neurophysiology* **123**(1): 121–128.
- Vermeeren, G., I. Markakis, F. Goeminne, T. Samaras, L. Martens and W. Joseph (2013). »Spatial and temporal RF electromagnetic field exposure of children and adults in indoor micro environments in Belgium and Greece.« *Progress in Biophysics and Molecular Biology* **113**(2): 254–263.
- Viel, J. F., E. Cardis, M. Moissonnier, R. de Seze and M. Hours (2009). »Radiofrequency exposure in the French general population: band, time, location and activity variability.« *Environ Int* **35**(8): 1150–1154.

- Viel, J. F., S. Clerc, C. Barrera, R. Rymzhanova, M. Moissonnier, M. Hours and E. Cardis (2009). »Residential exposure to radiofrequency fields from mobile phone base stations, and broadcast transmitters: a population-based survey with personal meter.« Occup Environ Med **66**(8): 550–556.
- Viel, J. F., M. Tiv, M. Moissonnier, E. Cardis and M. Hours (2011). »Variability of radiofrequency exposure across days of the week: A population-based study.« Environmental Research **111**(4): 510–513.
- Vijayalaxmi and T. J. Prihoda (2012). »Genetic damage in human cells exposed to non-ionizing radiofrequency fields: a meta-analysis of the data from 88 publications (1990-2011).« Mutat Res **749**(1-2): 1–16.
- Vijayalaxmi, A. B. Reddy, R. J. McKenzie, R. L. McIntosh, T. J. Prihoda and A. W. Wood (2013). »Incidence of micronuclei in human peripheral blood lymphocytes exposed to modulated and unmodulated 2450 MHz radiofrequency fields.« Bioelectromagnetics **34**(7): 542–548.
- Vojisavljevic, V., E. Pirogova and I. Cosic (2011). »Low intensity microwave radiation as modulator of the L-lactate dehydrogenase activity.« Medical & biological engineering & computing **49**(7): 793–799.
- Volkow, N. D., D. Tomasi, G. J. Wang, P. Vaska, J. S. Fowler, F. Telang, D. Alexoff, J. Logan and C. Wong (2011). »Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism.« Jama **305**(8): 808–813.
- Wang, F., G. M. Chang, Q. Yu and X. Geng (2015). »The neuroprotection of repetitive transcranial magnetic stimulation pre-treatment in vascular dementia rats.« J Mol Neurosci **56**(1): 198–204.
- Wang, X., C. Liu, Q. Ma, W. Feng, L. Yang, Y. Lu, Z. Zhou, Z. Yu, W. Li and L. Zhang (2015). »8-oxoG DNA glycosylase-1 inhibition sensitizes Neuro-2a cells to oxidative DNA base damage induced by 900 MHz radiofrequency electromagnetic radiation.« Cell Physiol Biochem **37**(3): 1075–1088.
- Wang, Z., Y. Fei, H. Liu, S. Zheng, Z. Ding, W. Jin, Y. Pan, Z. Chen, L. Wang, G. Chen, Z. Xu, Y. Zhu and Y. Yu (2016). »Effects of electromagnetic fields exposure on plasma hormonal and inflammatory pathway biomarkers in male workers of a power plant.« Int Arch Occup Environ Health **89**(1): 33–42.
- WHO (2007). Extremely low frequency fields. Geneva, WHO
- Wiert, J., E. Conil, N. Varsier, T. Sarrebourse, A. Hadjem, L. Martens, G. Wermeeren and Y. Corre (2014). Low-EMF future networks: The LEXNET EU project. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC), 2014, IEEE: 635–637.
- Woelders, H., A. de Wit, A. Lourens, N. Stockhofe, B. Engel, I. Hulsege, D. Schokker, P. van Heijningen, S. Vossen, D. Bekers and P. Zwamborn (2017). »Study of potential health effects of electromagnetic fields of telephony and Wi-Fi, using chicken embryo development as animal model.« Bioelectromagnetics **38**(3): 186–203.



- Wyde, M., M. Cesta, C. Blystone, S. Elmore, P. Foster, M. Hooth, G. Kissling, D. Malarkey, R. Sills, M. Stout, N. Walker, K. Witt, M. Wolfe and J. Bucher (2016). »Report of Partial findings from the National Toxicology Program Carcinogenesis Studies of Cell Phone Radiofrequency Radiation in Hsd: Sprague Dawley® SD rats (Whole Body Exposure).« bioRxiv.
- Xiong, L., C. F. Sun, J. Zhang, Y. B. Gao, L. F. Wang, H. Y. Zuo, S. M. Wang, H. M. Zhou, X. P. Xu, J. Dong, B. W. Yao, L. Zhao and R. Y. Peng (2015). »Microwave exposure impairs synaptic plasticity in the rat hippocampus and PC12 cells through over-activation of the NMDA receptor signaling pathway.« Biomed Environ Sci **28**(1): 13–24.
- Xu, S., G. Chen, C. Chen, C. Sun, D. Zhang, M. Murbach, N. Kuster, Q. Zeng and Z. Xu (2013). »Cell type-dependent induction of DNA damage by 1800 MHz radiofrequency electromagnetic fields does not result in significant cellular dysfunctions.« PLoS One **8**(1): e54906.
- Xu, S., Z. Zhou, L. Zhang, Z. Yu, W. Zhang, Y. Wang, X. Wang, M. Li, Y. Chen, C. Chen, M. He, G. Zhang and M. Zhong (2010). »Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation induces oxidative damage to mitochondrial DNA in primary cultured neurons.« Brain Res **1311**: 189–196.
- Yang, L., D. Hao, M. Wang, Y. Zeng, S. Wu and Y. Zeng (2012). »Cellular neoplastic transformation induced by 916 MHz microwave radiation.« Cell Mol Neurobiol **32**(6): 1039–1046.
- Yilmaz, A., N. Yilmaz, Y. Serarslan, M. Aras, M. Altas, T. Ozgur and F. Sefil (2014). »The effects of mobile phones on apoptosis in cerebral tissue: an experimental study on rats.« Eur Rev Med Pharmacol Sci **18**(7): 992–1000.
- Zarei, S., S. M. Mortazavi, A. R. Mehdizadeh, M. Jalalipour, S. Borzou, S. Taeb, M. Haghani, S. A. Mortazavi, M. B. Shojaei-Fard, S. Nematollahi, N. Alighanbari and S. Jarideh (2015). »A Challenging Issue in the Etiology of Speech Problems: The Effect of Maternal Exposure to Electromagnetic Fields on Speech Problems in the Offspring.« J Biomed Phys Eng **5**(3): 151–154.
- Zhadobov, M., S. I. Alekseev, R. Sauleau, Y. Le Page, Y. Le Drean and E. E. Fesenko (2017). »Microscale temperature and SAR measurements in cell monolayer models exposed to millimeter waves.« Bioelectromagnetics **38**(1): 11–21.
- Zhadobov, M., R. Augustine, R. Sauleau, S. Alekseev, A. Di Paola, C. Le Quement, Y. S. Mahamoud and Y. Le Drean (2012). »Complex permittivity of representative biological solutions in the 2-67 GHz range.« Bioelectromagnetics **33**(4): 346–355.
- Zhadobov, M., R. Sauleau, R. Augustine, C. Le Quement, Y. Le Drean and D. Thouroude (2012). »Near-field dosimetry for in vitro exposure of human cells at 60 GHz.« Bioelectromagnetics **33**(1): 55–64.

- Zhang, Y., Z. Li, Y. Gao and C. Zhang (2015). »Effects of fetal microwave radiation exposure on offspring behavior in mice.« J Radiat Res **56**(2): 261–268.
- Zhang, Y., K. Yao, Y. Yu, S. Ni, L. Zhang, W. Wang and K. Lai (2013). »Effects of 1.8 GHz radiofrequency radiation on protein expression in human lens epithelial cells.« Hum Exp Toxicol **32**(8): 797–806.
- Zheng, F., P. Gao, M. He, M. Li, J. Tan, D. Chen, Z. Zhou, Z. Yu and L. Zhang (2015). »Association between mobile phone use and self-reported well-being in children: a questionnaire-based cross-sectional study in Chongqing, China.« BMJ open **5**(5): e007302.
- Zheng, F., P. Gao, M. He, M. Li, C. Wang, Q. Zeng, Z. Zhou, Z. Yu and L. Zhang (2014). »Association between mobile phone use and inattention in 7102 Chinese adolescents: a population-based cross-sectional study.« BMC Public Health **14**: 1022.
- Zhijian, C., L. Xiaoxue, Z. Wei, L. Yezhen, L. Jianlin, L. Deqiang, C. Shijie, J. Lifan and H. Jiliang (2013). »Studying the protein expression in human B lymphoblastoid cells exposed to 1.8-GHz (GSM) radiofrequency radiation (RFR) with protein microarray.« Biochem Biophys Res Commun **433**(1): 36–39.
- Zhijian, C., L. Xiaoxue, L. Yezhen, L. Deqiang, C. Shijie, J. Lifan, L. Jianlin and H. Jiliang (2009). »Influence of 1.8-GHz (GSM) radiofrequency radiation (RFR) on DNA damage and repair induced by X-rays in human leukocytes in vitro.« Mutat Res **677**(1-2): 100–104.
- Zhijian, C., L. Xiaoxue, L. Yezhen, C. Shijie, J. Lifan, L. Jianlin, L. Deqiang and H. Jiliang (2010). »Impact of 1.8-GHz radiofrequency radiation (RFR) on DNA damage and repair induced by doxorubicin in human B-cell lymphoblastoid cells.« Mutat Res **695**(1-2): 16–21.
- Zhou, L. Y., H. X. Zhang, Y. L. Lan, Y. Li, Y. Liang, L. Yu, Y. M. Ma, C. W. Jia and S. Y. Wang (2017). »Epidemiological investigation of risk factors of the pregnant women with early spontaneous abortion in Beijing.« Chin J Integr Med **23**(5): 345–349.
- Zhu, W., W. Zhang, H. Wang, J. Xu, Y. Li and S. Lv (2014). »Apoptosis induced by microwave radiation in pancreatic cancer JF305 cells.« Can J Physiol Pharmacol **92**(4): 324–329.
- Zilberlicht, A., Z. Wiener-Megnazi, Y. Sheinfeld, B. Grach, S. Lahav-Baratz and M. Dirnfeld (2015). »Habits of cell phone usage and sperm quality – does it warrant attention?« Reprod Biomed Online **31**(3): 421–426.



- Zong, C., Y. Ji, Q. He, S. Zhu, F. Qin, J. Tong and Y. Cao (2015). »Adaptive response in mice exposed to 900 MHz radiofrequency fields: bleomycin-induced DNA and oxidative damage/repair.« *Int J Radiat Biol* **91**(3): 270–276.
- Zuo, H., T. Lin, D. Wang, R. Peng, S. Wang, Y. Gao, X. Xu, Y. Li, S. Wang, L. Zhao, L. Wang and H. Zhou (2014). »Neural cell apoptosis induced by microwave exposure through mitochondria-dependent caspase-3 pathway.« *Int J Med Sci* **11**(5): 426–435.
- Zuo, H., T. Lin, D. Wang, R. Peng, S. Wang, Y. Gao, X. Xu, L. Zhao, S. Wang and Z. Su (2015). »RKIP Regulates Neural Cell Apoptosis Induced by Exposure to Microwave Radiation Partly Through the MEK/ERK/CREB Pathway.« *Mol Neurobiol* **51**(3): 1520–1529.

8.2 Ergänzungen/Anhänge zu Kapitel 5

Bezüglich der Analysen und Ergebnisse in Kapitel 5 sind Detailergebnisse aus den diversen internationalen Forschungsprogrammen und Projekten durch eine Auflistung der relevanten Projekte und Literaturstellen in diesem Anhangskapitel 8.2 ergänzt worden.

8.2.1 Übersicht über die Studienpopulationen und Kohorten, die in den Publikationen in diesem Review untersucht wurden

Die dänische DNBC-Kohortenstudie¹¹⁰ (Danish National Birth Cohort) zum Zusammenhang zwischen unterschiedlichen frühkindlichen Expositionen und dem späteren Auftreten von Krankheiten ist eine prospektive Kohortenstudie, in die von 1996 bis 2002 mehr als 100.000 schwangere Frauen aufgenommen wurden. Die Angaben zur Mobiltelefonnutzung während der Schwangerschaft (pränatale Exposition) wurden von den Müttern retrospektiv erhoben, als die Kinder 7 Jahre alt waren. Insgesamt 8 Publikationen (alle mit moderater Qualität) des vorliegenden Reviews basieren auf der DNBC-Kohorte (Birks et al. 2017, Divan et al. 2008, Divan et al. 2011, Divan et al. 2012, Sudan et al. 2012, Sudan et al. 2013, Sudan et al. 2016, Sudan et al. 2018).

In der Schweiz wurde in der prospektiven HERMES-Kohortenstudie¹¹¹ (Health Effects Related to Mobile phone use in adolescentS) untersucht, ob die Nutzung und die Strahlung von drahtlosen Kommunikationsgeräten einen Einfluss auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität, das Verhalten und die kognitiven Fähigkeiten von Kindern und Jugendlichen haben. Dazu wurden zwischen 2012 und 2014 bzw. 2014 und 2016 insgesamt 895 Kinder und Jugendliche im

¹¹⁰ <https://www.dnbc.dk/> (28.9.2020)

¹¹¹ <https://primary-hospital-care.ch/de/article/doi/phc-f.2018.01852/> (28.9.2020)

Alter von 12 bis 17 Jahren zu ihrer Mobiltelefonnutzung sowie relevanten weiteren Einflussfaktoren und ihrer gesundheitsbezogenen Lebensqualität und dem Verhalten befragt. Die kognitiven Fähigkeiten wurden mit standardisierten Computertests gemessen. Bei Zustimmung der Eltern und Jugendlichen wurden außerdem die Daten zur Mobiltelefonnutzung beim Betreiber erfragt. Die HF-EMF-Exposition in der Umwelt wurde für den Schul- und Wohnort für jeden Studienteilnehmer individuell berechnet. Darüber hinaus nahmen 148 Jugendliche an 3 Tagen an einer persönlichen HF-EMF-Messstudie teil. Basierend auf diesen Nutzungs- und Expositionsdaten wurde die kumulative Strahlendosis von Mobiltelefonen und anderen drahtlosen Kommunikationsgeräten für das Gehirn und den ganzen Körper berechnet. Insgesamt 5 Publikationen des vorliegenden Reviews beruhen auf der HERMES-Kohorte (Foerster et al. 2018, Roser et al. 2016, Schoeni et al. 2015, Schoeni et al. 2016, Schoeni et al. 2017). Alle Studien hatten eine hohe Qualität.

Die niederländische ABCD-Kohortenstudie¹¹² (Amsterdam Born Children and their Development Study) ist eine prospektive Kohortenstudie, in der die Entwicklung und Gesundheit von Kindern vom Zeitpunkt der Schwangerschaft bis zum Erreichen des Erwachsenenalters verfolgt wird. Zwischen 2003 und 2004 wurden 8.266 schwangere Frauen aus Amsterdam in die Studie aufgenommen. Die Angaben zur Mobil- und Schnurlostelefonnutzung während der Schwangerschaft (pränatale Exposition) wurden von den Müttern retrospektiv erhoben, als die Kinder 7 Jahre alt waren. Es liegen Daten für 2.870 Mutter-Kind-Paare vor. Im Rahmen unseres Reviews konnten 5 relevante Studien mit der ABCD-Kohorte identifiziert werden (Birks et al. 2017, Guxens et al. 2013, Guxens et al. 2016, Guxens et al. 2019, Huss et al. 2015), davon hatten 3 Studien eine moderate und 2 Studien eine hohe Qualität.

Die in Deutschland durchgeführte MobilEe-Studie¹¹³ (Mobilfunk: Exposition und Befinden) ist eine bevölkerungsbasierte Querschnittsuntersuchung zur HF-EMF-Exposition des Mobilfunks und dem Befinden von Kindern und Jugendlichen, die von 2006 bis 2008 durchgeführt wurde. Von 6.386 angeschriebenen, zufällig ausgewählten Kindern und Jugendlichen wurden bei 1.498 Kindern (8 bis 12 Jahre) und 1.524 Jugendlichen (13 bis 17 Jahre) personenbezogene Messungen der Mobilfunkexposition über 24 Stunden durchgeführt. Die subjektiven gesundheitlichen Beschwerden wurden mithilfe eines Interviews sowie mit Tagebuch zweimal am Untersuchungstag erfasst. Die Gesamtexposition über alle Frequenzbereiche des Mobilfunks wurde als mittlerer prozentualer Anteil am ICNIRP-Grenzwert berechnet. Im vorliegenden Review basieren 4 Publikationen auf der MobilEe-Studie (Heinrich et al. 2010, Heinrich et al. 2011, Milde-Busch

¹¹² www.abcd-study.nl (28.9.2020)

¹¹³ http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/epidemiologie/epidemiologie_abges/epi_045.html (28.9.2020)



et al. 2010, Thomas et al. 2010b), die mit Ausnahme von Milde-Busch et al. (2010) alle eine hohe Studienqualität aufwiesen.

In der spanischen INMA-Kohortenstudie¹¹⁴ (INfancia y Medio Ambiente (Environment and Childhood)) wurde die pränatale und postnatale Exposition bei verschiedenen Umweltfaktoren und deren Wirkung auf die Gesundheit und Entwicklung von Kindern in 7 Studienzentren zu unterschiedlichen Rekrutierungszeiträumen untersucht. Die schwangeren Frauen gaben ihre Mobiltelefonnutzung im letzten Drittel der Schwangerschaft in einem Fragebogen an. Insgesamt 3 Publikationen (moderate Qualität) des vorliegenden Reviews basieren auf der INMA-Kohorte (Birks et al. 2017, Sudan et al. 2018, Vrijheid et al. 2010).

In die koreanische prospektive MOCEH-Kohortenstudie¹¹⁵ (Korean Mothers and Children's Environmental Health Study) werden seit 2006 schwangere Frauen aufgenommen und der Zusammenhang mit der pränatalen Exposition bei verschiedenen Umweltfaktoren und der Gesundheit der Nachkommen untersucht. Die Mobiltelefonnutzung wurde während der Schwangerschaft mithilfe eines Fragebogens erfasst. Für den vorliegenden Review konnten 3 Publikationen auf Basis der MOCEH-Kohorte zu unserem Thema identifiziert werden (Birks et al. 2017, Choi et al. 2017, Sudan et al. 2018). Davon hatten 2 Studien eine moderate und eine Studie (Choi et al. 2017) eine hohe Qualität.

Im europäischen GERoNiMO-Projekt¹¹⁶ (Generalized EMF Research using Novel MethOds) untersuchen 19 verschiedene Forschungszentren aus 13 Ländern die möglichen Wirkungen von HF- und Zwischenfrequenz-EMF, gemeinsam mit anderen Umweltexpositionen, im Zusammenhang mit Krebs, neurodegenerativen Erkrankungen, dem Verhalten, Schwangerschaftsverläufen und dem Altern. Im GERoNiMO-Projekt sind verschiedene nationale Geburtskohorten (z.B. ABCD-, DNBC- und INMA-Kohorten) eingeschlossen. 2 Publikationen (moderate Qualität) des vorliegenden Reviews beruhen auf dem GERoNiMO-Projekt (Birks et al. 2017, Sudan et al. 2018).

In der australischen MoRPhEUS-Kohortenstudie¹¹⁷ (Mobile Radiofrequency Phone Exposed Users' Study) wurden bei Kindern im Alter von 11 bis 14 Jahren Veränderungen in den kognitiven Fähigkeiten im Zusammenhang mit der Mobiltelefonnutzung im Abstand von einem Jahr untersucht. Insgesamt nahmen 317 Kinder an der ersten Untersuchung in den Jahren 2005/2006 und 238 Kinder am Follow-up 2006/2007 teil. Die Kinder gaben ihre Mobiltelefonnutzung in einem Fragebogen an. Im Rahmen unseres Reviews konnten

114 <https://www.proyectoinma.org/en/inma-project/general-overview/> (28.9.2020)

115 https://www.researchgate.net/profile/Mina_Ha/publication/26692931_The_Mothers_and_Children%27s_Environmental_Health_MOCEH_study/links/02e7e51e465b7ab4c900000/The-Mothers-and-Childrens-Environmental-Health-MOCEH-study.pdf?origin=publication_detail (28.9.2020)

116 <https://radiation.isglobal.org/geronimo/> (28.9.2020)

117 <https://research.monash.edu/en/projects/mobile-radiofrequency-phone-exposed-users-study-morpheus> (28.9.2020)

2 Publikationen (moderate Qualität) mit der MoRPhEUS-Kohorte eingeschlossen werden (Abramson et al. 2009, Thomas et al. 2010a).

In der australischen ExPOSURE-Kohortenstudie (Examination of Psychological Outcomes in Students Using Radiofrequency dEVICES) wurde 2010 bis 2013 bei Kindern im Alter von 10 Jahren der Zusammenhang zwischen Mobil- und Schnurlostelefonnutzung und ihren kognitiven Fähigkeiten im Abstand von einem Jahr untersucht. Insgesamt nahmen 619 Kinder an der ersten Untersuchung und 412 am Follow-up teil. Die Mobiltelefonnutzung wurde von den Eltern und Kindern in einem Fragebogen angegeben. Es gibt 2 Publikationen mit moderater Qualität aus der ExPOSURE-Kohorte zu unserem Thema (Bhatt et al. 2017, Redmayne et al. 2016).

In der koreanischen CHEER-Studie (Children's Health and Environment Research) wurden Umweltfaktoren (u. a. Mobiltelefonnutzung und Bleigehalt im Blut) untersucht, die mit der Gesundheit von Kindern im schulpflichtigen Alter zusammenhängen könnten. Die Studie umfasste von 2005 bis 2010 insgesamt 27 Grundschulen in 10 Städten in Korea. CHEER rekrutierte 2005 und 2006 überwiegend Erstklässler (insgesamt 2.422 Kinder) und untersuchte sie alle 2 Jahre bis 2009/2010. Die Eltern gaben die Mobiltelefonnutzung ihrer Kinder in einem Fragebogen an. Im vorliegenden Review wurde eine Publikation von moderater Qualität (Byun et al. 2013) zur CHEER-Studienpopulation eingeschlossen.

Die norwegische MoBa-Kohortenstudie¹¹⁸ (The Norwegian Mother and Child Cohort Study) ist eine prospektive Kohortenstudie, in der zwischen 1998 und 2008 mehr als 90.000 Mütter aufgenommen wurden. Ihre Nachkommen werden regelmäßig untersucht, um die Ursachen verschiedener Krankheiten zu identifizieren. Die Mütter gaben ihre Mobiltelefonnutzung während der Schwangerschaft in einem Fragebogen an. Zu unserem Thema gibt es 2 Publikationen von moderater Qualität zu dieser Kohorte (Birks et al. 2017, Papadopoulou et al. 2017).

8.2.2 Epidemiologische Studien zum Verhalten von Kindern und Jugendlichen (n = 9)

Es sind nur statistisch signifikante, adjustierte Ergebnisse aufgeführt.

- > ABCD – Amsterdam Born Children and their Development Study
- > ADHD – Attention Deficit Hyperactivity Disorder
- > ADHS – Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung
- > CBCL – Child Behavior Checklist
- > CHEER – Children's Health and Environment Research
- > DECT – Digital Enhanced Cordless Telecommunications

¹¹⁸ <https://www.fhi.no/en/studies/moba/> (28.9.2020)



- › DNBC – Danish National Birth Cohort
- › GERoNiMO – Generalized EMF research using novel methods
- › GSM – Global System for Mobile Communications
- › HERMES – Health Effects Related to Mobile Phone Use in Adolescents, HF-EMF – hochfrequente elektromagnetische Felder
- › ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
- › INMA – Infancia y Medio Ambiente
- › K-ARS – koreanische Version des ADHD rating scale, KI95 % – 95 %-Konfidenzintervall, mJ – Millijoule, MobilEe – Mobilfunk: Exposition und Befinden
- › MoBa – The Norwegian Mother and Child Cohort Study
- › MOCEH – Korean Mothers and Children’s Environmental Health Study, OR – Odds Ratio, SDQ-Fragebogen – Strengths and Difficulties Questionnaire, SMS – Short Message Service, UMTS – Universal Mobile Telecommunication System, WLAN – Wireless Local Area Network

Alter von 12 bis 17 Jahren zu ihrer Mobiltelefonnutzung sowie relevanten weiteren Einflussfaktoren und ihrer gesundheitsbezogenen Lebensqualität und dem Verhalten befragt. Die kognitiven Fähigkeiten wurden mit standardisierten Computertests gemessen. Bei Zustimmung der Eltern und Jugendlichen wurden außerdem die Daten zur Mobiltelefonnutzung beim Betreiber erfragt. Die HF-EMF-Exposition in der Umwelt wurde für den Schul- und Wohnort für jeden Studienteilnehmer individuell berechnet. Darüber hinaus nahmen 148 Jugendliche an 3 Tagen an einer persönlichen HF-EMF-Messstudie teil. Basierend auf diesen Nutzungs- und Expositionsdaten wurde die kumulative Strahlendosis von Mobiltelefonen und anderen drahtlosen Kommunikationsgeräten für das Gehirn und den ganzen Körper berechnet. Insgesamt 5 Publikationen des vorliegenden Reviews beruhen auf der HERMES-Kohorte (Foerster et al. 2018, Roser et al. 2016, Schoeni et al. 2015, Schoeni et al. 2016, Schoeni et al. 2017). Alle Studien hatten eine hohe Qualität.

Die niederländische ABCD-Kohortenstudie¹¹² (Amsterdam Born Children and their Development Study) ist eine prospektive Kohortenstudie, in der die Entwicklung und Gesundheit von Kindern vom Zeitpunkt der Schwangerschaft bis zum Erreichen des Erwachsenenalters verfolgt wird. Zwischen 2003 und 2004 wurden 8.266 schwangere Frauen aus Amsterdam in die Studie aufgenommen. Die Angaben zur Mobil- und Schnurlostelefonnutzung während der Schwangerschaft (pränatale Exposition) wurden von den Müttern retrospektiv erhoben, als die Kinder 7 Jahre alt waren. Es liegen Daten für 2.870 Mutter-Kind-Paare vor. Im Rahmen unseres Reviews konnten 5 relevante Studien mit der ABCD-Kohorte identifiziert werden (Birks et al. 2017, Guxens et al. 2013, Guxens et al. 2016, Guxens et al. 2019, Huss et al. 2015), davon hatten 3 Studien eine moderate und 2 Studien eine hohe Qualität.

Die in Deutschland durchgeführte MobilEe-Studie¹¹³ (Mobilfunk: Exposition und Befinden) ist eine bevölkerungsbasierte Querschnittsuntersuchung zur HF-EMF-Exposition des Mobilfunks und dem Befinden von Kindern und Jugendlichen, die von 2006 bis 2008 durchgeführt wurde. Von 6.386 angeschriebenen, zufällig ausgewählten Kindern und Jugendlichen wurden bei 1.498 Kindern (8 bis 12 Jahre) und 1.524 Jugendlichen (13 bis 17 Jahre) personenbezogene Messungen der Mobilfunkexposition über 24 Stunden durchgeführt. Die subjektiven gesundheitlichen Beschwerden wurden mithilfe eines Interviews sowie mit Tagebuch zweimal am Untersuchungstag erfasst. Die Gesamtexposition über alle Frequenzbereiche des Mobilfunks wurde als mittlerer prozentualer Anteil am ICNIRP-Grenzwert berechnet. Im vorliegenden Review basieren 4 Publikationen auf der MobilEe-Studie (Heinrich et al. 2010, Heinrich et al. 2011, Milde-Busch

112 www.abcd-study.nl (28.9.2020)

113 http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/epidemiologie/epidemiologie_abges/epi_045.html (28.9.2020)



et al. 2010, Thomas et al. 2010b), die mit Ausnahme von Milde-Busch et al. (2010) alle eine hohe Studienqualität aufwiesen.

In der spanischen INMA-Kohortenstudie¹¹⁴ (Infancia y Medio Ambiente (Environment and Childhood)) wurde die pränatale und postnatale Exposition bei verschiedenen Umweltfaktoren und deren Wirkung auf die Gesundheit und Entwicklung von Kindern in 7 Studienzentren zu unterschiedlichen Rekrutierungszeiträumen untersucht. Die schwangeren Frauen gaben ihre Mobiltelefonnutzung im letzten Drittel der Schwangerschaft in einem Fragebogen an. Insgesamt 3 Publikationen (moderate Qualität) des vorliegenden Reviews basieren auf der INMA-Kohorte (Birks et al. 2017, Sudan et al. 2018, Vrijheid et al. 2010).

In die koreanische prospektive MOCEH-Kohortenstudie¹¹⁵ (Korean Mothers and Children's Environmental Health Study) werden seit 2006 schwangere Frauen aufgenommen und der Zusammenhang mit der pränatalen Exposition bei verschiedenen Umweltfaktoren und der Gesundheit der Nachkommen untersucht. Die Mobiltelefonnutzung wurde während der Schwangerschaft mithilfe eines Fragebogens erfasst. Für den vorliegenden Review konnten 3 Publikationen auf Basis der MOCEH-Kohorte zu unserem Thema identifiziert werden (Birks et al. 2017, Choi et al. 2017, Sudan et al. 2018). Davon hatten 2 Studien eine moderate und eine Studie (Choi et al. 2017) eine hohe Qualität.

Im europäischen GERoNiMO-Projekt¹¹⁶ (Generalized EMF Research using Novel MethOds) untersuchen 19 verschiedene Forschungszentren aus 13 Ländern die möglichen Wirkungen von HF- und Zwischenfrequenz-EMF, gemeinsam mit anderen Umweltexpositionen, im Zusammenhang mit Krebs, neurodegenerativen Erkrankungen, dem Verhalten, Schwangerschaftsverläufen und dem Altern. Im GERoNiMO-Projekt sind verschiedene nationale Geburtskohorten (z.B. ABCD-, DNBC- und INMA-Kohorten) eingeschlossen. 2 Publikationen (moderate Qualität) des vorliegenden Reviews beruhen auf dem GERoNiMO-Projekt (Birks et al. 2017, Sudan et al. 2018).

In der australischen MoRPhEUS-Kohortenstudie¹¹⁷ (Mobile Radiofrequency Phone Exposed Users' Study) wurden bei Kindern im Alter von 11 bis 14 Jahren Veränderungen in den kognitiven Fähigkeiten im Zusammenhang mit der Mobiltelefonnutzung im Abstand von einem Jahr untersucht. Insgesamt nahmen 317 Kinder an der ersten Untersuchung in den Jahren 2005/2006 und 238 Kinder am Follow-up 2006/2007 teil. Die Kinder gaben ihre Mobiltelefonnutzung in einem Fragebogen an. Im Rahmen unseres Reviews konnten

114 <https://www.proyectoinma.org/en/inma-project/general-overview/> (28.9.2020)

115 https://www.researchgate.net/profile/Mina_Ha/publication/26692931_The_Mothers_and_Children%27s_Environmental_Health_MOCEH_study/links/02e7e51e465b7ab4c9000000/The-Mothers-and-Childrens-Environmental-Health-MOCEH-study.pdf?origin=publication_detail (28.9.2020)

116 <https://radiation.isglobal.org/geronimo/> (28.9.2020)

117 <https://research.monash.edu/en/projects/mobile-radiofrequency-phone-exposed-users-study-morphheus> (28.9.2020)

2 Publikationen (moderate Qualität) mit der MoRPhEUS-Kohorte eingeschlossen werden (Abramson et al. 2009, Thomas et al. 2010a).

In der australischen ExPOSURE-Kohortenstudie (Examination of Psychological Outcomes in Students Using Radiofrequency dEVICES) wurde 2010 bis 2013 bei Kindern im Alter von 10 Jahren der Zusammenhang zwischen Mobil- und Schnurlostelefonnutzung und ihren kognitiven Fähigkeiten im Abstand von einem Jahr untersucht. Insgesamt nahmen 619 Kinder an der ersten Untersuchung und 412 am Follow-up teil. Die Mobiltelefonnutzung wurde von den Eltern und Kindern in einem Fragebogen angegeben. Es gibt 2 Publikationen mit moderater Qualität aus der ExPOSURE-Kohorte zu unserem Thema (Bhatt et al. 2017, Redmayne et al. 2016).

In der koreanischen CHEER-Studie (Children's Health and Environment Research) wurden Umweltfaktoren (u. a. Mobiltelefonnutzung und Bleigehalt im Blut) untersucht, die mit der Gesundheit von Kindern im schulpflichtigen Alter zusammenhängen könnten. Die Studie umfasste von 2005 bis 2010 insgesamt 27 Grundschulen in 10 Städten in Korea. CHEER rekrutierte 2005 und 2006 überwiegend Erstklässler (insgesamt 2.422 Kinder) und untersuchte sie alle 2 Jahre bis 2009/2010. Die Eltern gaben die Mobiltelefonnutzung ihrer Kinder in einem Fragebogen an. Im vorliegenden Review wurde eine Publikation von moderater Qualität (Byun et al. 2013) zur CHEER-Studienpopulation eingeschlossen.

Die norwegische MoBa-Kohortenstudie¹¹⁸ (The Norwegian Mother and Child Cohort Study) ist eine prospektive Kohortenstudie, in der zwischen 1998 und 2008 mehr als 90.000 Mütter aufgenommen wurden. Ihre Nachkommen werden regelmäßig untersucht, um die Ursachen verschiedener Krankheiten zu identifizieren. Die Mütter gaben ihre Mobiltelefonnutzung während der Schwangerschaft in einem Fragebogen an. Zu unserem Thema gibt es 2 Publikationen von moderater Qualität zu dieser Kohorte (Birks et al. 2017, Papadopoulou et al. 2017).

8.2.2 Epidemiologische Studien zum Verhalten von Kindern und Jugendlichen (n = 9)

Es sind nur statistisch signifikante, adjustierte Ergebnisse aufgeführt.

- > ABCD – Amsterdam Born Children and their Development Study
- > ADHD – Attention Deficit Hyperactivity Disorder
- > ADHS – Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung
- > CBCL – Child Behavior Checklist
- > CHEER – Children's Health and Environment Research
- > DECT – Digital Enhanced Cordless Telecommunications

¹¹⁸ <https://www.fhi.no/en/studies/moba/> (28.9.2020)



- > DNBC – Danish National Birth Cohort
- > GERoNiMO – Generalized EMF research using novel methods
- > GSM – Global System for Mobile Communications
- > HERMES – Health Effects Related to Mobile Phone Use in Adolescents, HF-EMF – hochfrequente elektromagnetische Felder
- > ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
- > INMA – Infancia y Medio Ambiente
- > K-ARS – koreanische Version des ADHD rating scale, KI95 % – 95 %-Konfidenzintervall, mJ – Millijoule, MobilEe – Mobilfunk: Exposition und Befinden
- > MoBa – The Norwegian Mother and Child Cohort Study
- > MOCEH – Korean Mothers and Children’s Environmental Health Study, OR – Odds Ratio, SDQ-Fragebogen – Strengths and Difficulties Questionnaire, SMS – Short Message Service, UMTS – Universal Mobile Telecommunication System, WLAN – Wireless Local Area Network

Tab. 8.7 Epidemiologische Studien zum Verhalten von Kindern und Jugendlichen

Autor (Jahr) (OHAT- Studienquali- tät)	Studiendesign Land Beobach- tungszeit- raum	Studienpopula- tion Alter Anzahl	Exposition Expositionsgruppen Abschätzungsmethode	Endpunkt Abschätzungsme- thode	Ergebnisse Schlussfolgerung laut Autoren
<i>Dänemark, Korea, Niederlande, Norwegen und Spanien</i>					
Birks et al. (2017) (moderate Qualität)	multinationale Analyse von 5 Geburtsko- horten Dänemark, Korea, Nieder- landen, Nor- wegen, Spa- nien 1996–2011	Mutter-Kind-Paare aus ABCD-, DNBC- , INMA-, MoBa- und MOCEH-Ko- horten (GERO- NiMO-Studie) 5 bis 7 Jahre 83.884	Mobiltelefon: Mutter: Nutzung während der Schwangerschaft: Anzahl an Anrufen/Tag (0, 0–1 (Referenz), 2–3, ≥ 4) Schnurlostelefon (nur in DNBC-Kohorte): Mutter: Nutzung während der Schwangerschaft: Anzahl an Anrufen/Tag (0, 0–1 (Referenz), 2–3, ≥ 4) Fragebogen (von Mutter aus- gefüllt: prospektiv während der Schwangerschaft in 3 Kohorten, retrospektiv im Alter von 7 Jahren des Kin- des in 2 Kohorten)	Verhaltensauffällig- keiten bei 5-bis 7- Jährigen: emotionale Prob- leme, Verhaltens- schwierigkeiten, Hy- peraktivität/Auf- merksamkeitsprob- leme und Probleme im Umgang mit Gleichaltrigen SDQ-Fragebogen in 3 Kohorten, CBCL in 2 Kohorten (von Mutter ausgefüllt)	Hyperaktivität/Aufmerksam- keitsprobleme: 2–3 Mobiltelefonanrufe/Tag: OR 1,11 (KI95 % 1,01–1,22), ≥ 4 Mobiltelefonanrufe/Tag: OR 1,28 (KI95 % 1,12–1,48) Schlussfolgerung: Die Mobilte- lefonnutzung während der Schwangerschaft könnte mit ei- nem erhöhten Risiko für Ver- haltensauffälligkeiten, insbe- sondere für Hyperaktivität/Auf- merksamkeitsprobleme, bei den Kindern zusammenhän- gen.



Dänemark					
Divan et al. (2008) (moderate Qualität)	Kohortenstudie Dänemark 1997–1999, Follow-up 2006	Mutter-Kind-Paare aus der DNBC-Kohorte 0 bis 7 Jahre 13.159	Mobiltelefon und Schnurlostelefon: Mutter: Nutzung während der Schwangerschaft (pränatal: nein (Referenz), ja) Anzahl an Anrufen/Tag (0–1 (Referenz), 2–3, ≥ 4) Kind: Nutzung im Alter von 7 Jahren (postnatal: nein (Referenz), ja) Fragebogen (von Mutter ausgefüllt, als das Kind 7 Jahre alt war)	Verhaltensauffälligkeiten bei 7-Jährigen: emotionale Probleme, Verhaltensschwierigkeiten, Hyperaktivität/Aufmerksamkeitsprobleme, Probleme im Umgang mit Gleichaltrigen SDQ-Fragebogen (von Mutter ausgefüllt)	Verhaltensauffälligkeiten: pränatale und postnatale Exposition: OR 1,80 (KI95 % 1,45–2,23), nur pränatale Exposition: OR 1,54 (KI95 % 1,32–1,81), nur postnatale Exposition: OR 1,18 (KI95 % 1,01–1,38) ähnliche signifikante Ergebnisse für die einzelnen Unterpunkte Schlussfolgerung: Es wurde ein Zusammenhang zwischen pränataler und/oder postnataler Exposition und Verhaltensauffälligkeiten bei 7-jährigen gefunden.
Divan et al. (2012) (moderate Qualität)	Kohortenstudie Dänemark 1997–2002 Follow-up 7 Jahre später Update von Divan et al. (2008)	Mutter-Kind-Paare aus der DNBC-Kohorte 0 bis 7 Jahre 41.541	Mobiltelefon: Mutter: Nutzung während der Schwangerschaft (pränatal: nein (Referenz), ja) Anzahl an Anrufen/Tag (0–1 (Referenz), 2–3, ≥ 4), Anschaltdauer des Telefons, gegenwärtige Nutzung Kind: Nutzung im Alter von 7 Jahren (postnatal: nein (Referenz), ja)	Verhaltensauffälligkeiten bei 7-Jährigen: (ohne weitere Angaben) SDQ-Fragebogen (von Mutter ausgefüllt)	Verhaltensauffälligkeiten: pränatale und postnatale Exposition: OR 1,5 (KI95 % 1,4–1,7), nur pränatale Exposition: OR 1,4 (KI95 % 1,2–1,5), nur postnatale Exposition: OR 1,2 (KI95 % 1,0–1,3) ähnliche signifikante Ergebnisse in Untergruppen Schlussfolgerung: Der in Divan et al. (2008) beobachtete Zu-

Sudan et al. (2016) (moderate Qualität)	Kohortenstudie Dänemark 1996–2002, Follow-up im Alter von 7 und 11 Jahren Update von Divan et al. (2008) und Divan et al. (2012)	Mutter-Kind-Paare aus der DNBC-Kohorte 0 bis 11 Jahre 47.721	Fragebogen (von Mutter ausgefüllt, als das Kind 7 Jahre alt war)	Fragebogen (von Mutter ausgefüllt, als das Kind 7 Jahre alt war) Mobiltelefon: Mutter: Nutzung während der Schwangerschaft (pränatal: nein (Referenz), ja) Kind: Nutzung im Alter von 7 Jahren (postnatal: nein (Referenz), ja) Fragebogen (von Mutter ausgefüllt, als das Kind 7 Jahre alt war)	Verhaltensauffälligkeiten bei 7- und 11-jährigen: emotionale Probleme, Verhaltensschwierigkeiten, Hyperaktivität/Aufmerksamkeit/Aufmerksamkeitsprobleme, Probleme im Umgang mit Gleichaltrigen SDQ-Fragebogen (von Mutter ausgefüllt)	Verhaltensauffälligkeiten bei 11-jährigen Kindern (keine Auffälligkeiten im Alter von 7 Jahren): pränatale und postnatale Exposition: OR 1,58 (KI95% 1,34–1,86), nur pränatale Exposition: OR 1,41 (KI95% 1,20–1,66), nur postnatale Exposition: OR 1,36 (KI95% 1,14–1,63) ähnliche signifikante Ergebnisse in Untergruppen Schlussfolgerung: Die Ergebnisse sind konsistent mit denen der vorangegangenen Studien und deuten auf einen möglichen Zusammenhang zwischen pränataler und/oder postnataler Exposition und Verhaltensauffälligkeiten hin.



<i>Niederlande</i>					
Guxens et al. (2013) (moderate Qualität)	Kohortenstudie Niederlande 2003–2004, Follow-up im Alter von 5 Jahren	Mutter-Kind-Paare aus der ABCD-Kohorte 0 bis 5 Jahre 2.618	Mobiltelefon, Schnurlostelefon: Mutter: Nutzung während der Schwangerschaft: Anzahl an Anrufen/Tag (0 (Referenz), < 1, 1–4, ≥ 5) Verwendung einer Freisprechanlage Fragebogen (von Mutter ausgefüllt, als das Kind 7 Jahre alt war)	Verhaltensauffälligkeiten bei 5-Jährigen: emotionale Probleme, Verhaltens-schwierigkeiten, Hyperaktivität/Aufmerksamkeitsprobleme und Probleme im Umgang mit Gleichaltrigen SDQ-Fragebogen (von Mutter und Lehrer ausgefüllt)	keine statistisch signifikanten Ergebnisse Schlussfolgerung: Es wurden keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Mobil- und Schnurlostelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft und dem Verhalten des Kindes im Alter von 5 Jahren gefunden.
Guxens et al. (2019) (hohe Qualität)	Querschnittstudie Niederlande 2008–2009	Kinder aus der ABCD-Kohorte 5 Jahre 3.102	Mobiltelefon, Schnurlostelefon, Mobilfunkbasisstation, Schnurlostelefonbasisstation, Wi-Fi: Anzahl an Anrufen/Woche, Basisstation von Schnurlostelefon und Wi-Fi zu Hause vorhanden; Kontrolle: Computer-/Videospielen und Fernsehen einschließlich DVD und Video Fragebogen (von Mutter ausgefüllt, als das Kind 7 Jahre alt war) Berechnung der häuslichen	Verhalten bei 5-Jährigen: Auffälligkeiten (emotionale Probleme, Verhaltens-schwierigkeiten, Hyperaktivität/Aufmerksamkeitsprobleme und Probleme im Umgang mit Gleichaltrigen) Stärken (prosoziales Verhalten) SDQ-Fragebogen	emotionale Probleme (Angabe der Mutter): höherer HF-EMF-Level (> 90. Perzentil) von Mobilfunkbasisstationen: OR 1,82 (KI95 % 1,07–3,09), Verhaltensauffälligkeiten (Angabe des Lehrers): 50.–90. Perzentil der Exposition bei Mobilfunkbasisstationen: OR 1,37 (KI95 % 1,02–1,83) prosoziales Verhalten (Angabe des Lehrers): Basisstation für Schnurlostelefon: OR 0,68 (KI95 % 0,48–0,97) (Verbesserung),

			Exposition durch Mobilfunk- basisstationen mit 3-D-geo- räumlichem Funkwellenaus- breitungsmodell (NISMap)	(von Lehrer und Mutter ausgefüllt)	Probleme im Umgang mit Gleichaltrigen (Angabe der Mutter): Basisstation für Schnurlostelefon: OR 0,61 (KI95 % 0,39-0,96) (Verbesserung), Verhaltensschwierigkeiten (Angabe des Lehrers): < 1 Mobiltelefonanruf pro Woche: OR 0,67 (KI95 % 0,47-0,95) (Verbesserung) Kontrolle: Hyperaktivität (Angabe der Mutter): 0,5-1 h/Tag Computer-/Videospielen: OR 1,44 (KI95 % 1,01-2,06), ≥ 1,5 h/Tag Fernsehen: OR 3,13 (KI95 % 1,43-6,82) Schlussfolgerung: Es wurden keine konsistenten Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Mobil- und Schnurlostelefonnutzung und dem Verhalten festgestellt.



<i>weitere Länder</i>					
Thomas et al. (2010b) (hohe Qualität)	Querschnittsstudie Deutschland 2006–2008	Kinder und Jugendliche aus der MobilEe-Studie 8 bis 12 und 13 bis 17 Jahre 1.498 Kinder und 1.524 Jugendliche	Mobiltelefon und Basisstation (GSM 900, GSM 1800, UMTS 2100, Up- und Downlink), DECT, WLAN 2400: Messung mit Personendosimeter (ESM-140, 86.400 Messungen in 24 Stunden) Berechnung des Anteils am ICNIRP-Grenzwert basierend auf den Feldstärken für 3 Frequenzbereiche während der Wachzeit: 1. Qu $\text{til} \leq 0,15\%$, 2. Qu $\text{til} > 0,15\% \leq 0,17\%$, 3. Qu $\text{til} > 0,17\% \leq 0,20\%$ (bei Kindern), 3. Qu $\text{til} > 0,17\% \leq 0,21\%$ (bei Jugendlichen), 4. Qu $\text{til} > 0,20\%$ bzw. $0,21\%$	Verhaltensauffälligkeiten: emotionale Probleme, Verhaltensschwierigkeiten, Hyperaktivität/Aufmerksamkeitsstörung, Probleme im Umgang mit Gleichaltrigen SDQ-Fragebogen (von Kind und Elternteil oder Jugendlichem ausgefüllt)	Kinder Verhaltensschwierigkeiten: 4. Qu til: OR 2,9 (KI95 % 1,4–5,9) Jugendliche Verhaltensauffälligkeiten: 4. Qu til: OR 2,2 (KI95 % 1,1–4,5), Verhaltensschwierigkeiten: 4. Qu til: OR 3,7 (KI95 % 1,6–8,4) Schlussfolgerung: Es wurden Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für Verhaltensauffälligkeiten in der höchsten Expositionsgruppe gefunden.

Byun et al. (2013) (moderate Qualität)	Kohorten- studie Korea 2006 bzw. 2008, Follow- up 2 Jahre später	Kinder aus der CHEER-Kohorte ca. 7 bis 12 Jahre 2.422	Mobiltelefon: Alter bei erstem eigenen Mo- biltelefon, monatliche Rech- nung, Anzahl an Anrufen/Tag, durchschnittliche Anruf- dauer (< 30 s (Referenz), 30–60 s, ≥ 1 min), Anzahl an SMS/Tag, durchschnittliche mit Spie- len auf dem Handy ver- brachte Zeit, Internetnutzung über das Handy, kumulierte Anruf- dauer basierend auf der An- zahl an Anrufen/Tag, der durchschnittlichen Anruf- dauer und den Jahren der Mobiltelefonnutzung (0 Stunden (Referenz), < 30, 30–< 70, ≥ 70 Stunden)	ADHS: K-ARS-Bewertungs- skala (von Elternteil oder Betreuer aus- gefüllt) Bleigehalt im Blut (Messung)	ADHS: durchschnittliche Anrufdauer ≥ 1 min in der Gruppe mit ho- hem Bleigehalt im Blut: OR 7,2 (KI 95 % 1,37–37,91) Schlussfolgerung: Es wurde ein erhöhtes Risiko für ADHS im Zusammenhang mit der Mobil- telefonnutzung beobachtet, je- doch nur bei Kindern mit ei- nem hohen Bleigehalt im Blut.



Roser et al. (2016) (hohe Qualität)	Kohortenstudie Schweiz 2012–2013, Follow-up 2013–2014	Jugendliche aus der HERMES-Studie 12 bis 17 Jahre 439, 425 in Follow-up	Mobiltelefon, Basisstation, Schnurlostelefon, WLAN: Fragebogen (vom Jugendlichen ausgefüllt): Dauer der Mobil- und Schnurlostelefonanrufe (min/Tag), Dauer des Datenverkehrs mit einem Mobiltelefon (min/Tag); Kontrolle: Anzahl an versendeten Textnachrichten/Tag, Computerspielen und Fernsehen Betreiberdaten: Dauer der Mobiltelefonanrufe (min/Tag), Netzwerk (GSM oder UMTS), Volumen des Datenverkehrs mit einem Mobiltelefon (Megabytes/Tag); Kontrolle: Anzahl an versendeten SMS/Tag Messungen mit Personendosimeter (3 Tage lang bei 95 Jugendlichen): Downlink (Mobilfunkbasisstationen), fest installierte Antennenanlagen (Mobilfunkbasisstationen und Fernseh-Antennen), HF-EMF-Gesamtexposition und Gesamtexposition	Verhalten: Auffälligkeiten (emotionale Probleme, Verhaltensschwierigkeiten, Hyperaktivität/Aufmerksamkeitsprobleme, Probleme im Umgang mit Gleichaltrigen) Stärken (prosoziales Verhalten) SDQ-Fragebogen (von Jugendlichen und Elternteil ausgefüllt) Kognitive Funktion: siehe Tabelle A3	Querschnittsanalyse: Verhaltensauffälligkeiten: vom Jugendlichen angegeben: Dauer des Mobiltelefonverkehrs: Koeffizient 0,98 (KI95 % 0,41; 1,55), Dauer der Mobiltelefonanrufe: Koeffizient 0,28 (KI95 % 0,13; 0,43), Dauer der Schnurlostelefonanrufe: Koeffizient 0,36 (KI95 % 0,12; 0,59) Gehirndosis: Koeffizient 0,33 (KI95 % 0,15; 0,50), Ganzkörper-Dosis: Koeffizient KI 0,41 (KI95 % 0,25; 0,57) Betreiberdaten: Ganzkörper-Dosis: Koeffizient 1,19 (KI95 % 0,70; 1,68) Kontrollparameter: Dauer des Computerspiels: Koeffizient 0,68 (KI95 % 0,35; 1,01), Anzahl an Textnachrichten/Tag: Koeffizient 0,69 (KI95 % 0,11; 1,26) Längsschnittanalyse: Verhaltensauffälligkeiten: vom

			ohne Mobiltelefonuplink Berechnung basierend auf den Angaben im Fragebogen und den Betreiberdaten: kumulative Gehirn- und Ganzkörperdosis [mJ/kg/Tag]	Jugendlichen angegeben: Dauer der Mobiltelefonanrufe: Koeffizient -0,34 (KI95 % -0,59; -0,08) (Verbesserung) Gehirndosis: Koeffizient -0,61 (KI95 % -0,93; -0,28) (Verbesserung), Ganzkörperdosis: Koeffizient -0,39 (KI95 % -0,63; -0,14) (Verbesserung) Stärken: vom Jugendlichen angegeben: Kontrollparameter Dauer des Computerspiels: Koeffizient 0,26 (KI95 % 0,06; 0,45) Schlussfolgerung: Es wurden insgesamt keine konsistenten Hinweise auf eine Wirkung einer HF-EMF-Exposition auf das Verhalten von Jugendlichen gefunden.



8.2.3 Epidemiologische Studien zur Entwicklung von Kleinkindern (n = 4)

Es sind nur statistisch signifikante, adjustierte Ergebnisse aufgeführt: DNBC – Danish National Birth Cohort, IMT – International Mobile Telecommunications, INMA – Infancia y Medio Ambiente, KI95 % – 95 %-Konfidenzintervall, MoBa – The Norwegian Mother and Child Cohort Study, MOCEH – Korean Mothers and Children’s Environmental Health Study, OR – Odds Ratio, PCS – Personal Communications System, TETRA – Terrestrial Trunked Radio.

Tab. 8.8 Epidemiologische Studien zur Entwicklung von Kleinkindern

Autor (Jahr) (OHAT-Studienqualität)	Studiendesign Land Beobachtungszeitraum	Studienpopulation Alter Anzahl	Exposition Expositionsgruppen Abschätzungsmethode	Endpunkt Abschätzungsmethode	Ergebnisse Schlussfolgerung laut Autoren
Vrijheid et al. (2010) (moderate Qualität)	Kohortenstudie Spanien 2004–2006	Mutter-Kind-Paare aus der INMA-Kohorte 14 Monate 530	Mobiltelefon: Mutter: Nutzung während der Schwangerschaft: Anzahl an Anrufen/Tag (0 (Referenz), 1, 2–4 und ≥ 5) Fragebogen (von Mutter in der 32. Schwangerschaftswoche ausgefüllt)	Neuroentwicklung: Geistige und psychomotorische Entwicklung Bayley-Skala (von Verursacher durchgeföhrt)	psychomotorische Entwicklung: ≥ 5 Anrufe/Tag: Regressionskoeffizient -5,6 ($KL_{95\%}$ -10,7; -0,5) Schlussfolgerung: Es wurden kaum Hinweise auf eine schädliche Wirkung der Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft auf die frühe Neuroentwicklung ihres Kindes gefunden.
Divan et al. (2011) (moderate Qualität)	Kohortenstudie Dänemark 1997–2002, Follow-up im Alter von 6 und 18 Monaten	Mutter-Kind-Paare aus der DNBC-Kohorte 0 bis 18 Monate 41.541	Mobiltelefon: Mutter: Nutzung während der Schwangerschaft: Anzahl an Anrufen/Tag (0–1 (Referenz), 2–3, ≥ 4), Anschaltdauer des Telefons (0% (Referenz), < 50%, 50–99%, 100%)	motorische, kognitive und sprachliche Entwicklung im Alter von 6 und 18 Monaten Interview (mit Mutter geföhrt, als das Kind 6 und 18 Monate alt war)	keine statistisch signifikanten Ergebnisse Schlussfolgerung: Es wurde kein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen der Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft und der motori-



Choi et al. (2017) (hohe Qualität)	Kohortenstudie Korea 2006–2010, Follow-up im Alter von 6, 12, 24 und 36 Monaten	Mutter-Kind-Paare aus der MOCEH-Kohorte 0 bis 3 Jahre 1.198	Fragebogen (von Mutter ausgefüllt, als das Kind 7 Jahre alt war)	Neuroentwicklung: Kognitive und psychomotorische Entwicklung im Alter von 6, 12, 24 und 36 Monaten koreanische Version der Bayley-Skala (von Versuchsleiter durchgeführt) Bleigehalt im Blut der Mütter (Messung)	schen, kognitiven und sprachlichen Entwicklung ihres Kindes im Alter von 6 und 18 Monaten gefunden. keine statistisch signifikanten Ergebnisse Schlussfolgerung: Es wurden keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Mobiltelefonnutzung sowie HF-EMF-Exposition der Mütter während der Schwangerschaft und der Neuroentwicklung bei Kindern in den ersten 3 Lebensjahren gefunden. Jedoch gab es Hinweise auf eine mögliche Wechselwirkung zwischen der pränatalen Exposition bei Blei und der Mobiltelefonnutzung.

Papadopoulos et al. (2017) (moderate Qualität)	Kohortenstudie Norwegen 1999–2008	Mutter-Kind-Paare aus der MoBa-Kohorte 3 bis 5 Jahre 45.389 (3-Jährige) und 17.310 (5-Jährige)	Mobiltelefon: Mutter: Nutzung während der Schwangerschaft (nein (Referenz), ja: nein/selten (Referenz), ein paar Mal/Woche, täglich, > 1 Stunde/Tag) Fragebogen (von der Mutter in der 17. und 30. Schwangerschaftswoche ausgefüllt)	Sprachentwicklung (bei 3-Jährigen), Kommunikationsfähigkeit und motorische Fähigkeiten (bei 3- und 5-Jährigen) Dale-und-Bishop-Grammatik-Skala, Alter- und Stadium-Fragebogen und Kind-Entwicklungs-Fragebogen (von Mutter ausgefüllt)	Sprachentwicklung, Satzkomplexität: Mobiltelefonnutzung: ja, OR 0,83 (KI _{95%} 0,77–0,89) (Verbesserung) motorische Fähigkeiten: Mobiltelefonnutzung: ja, OR 0,82 (KI _{95%} 0,76–0,87) (Verbesserung) ähnliche signifikante Ergebnisse in Untergruppen Schlussfolgerung: Es gab keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft und einer Verzögerung in der frühkindlichen Entwicklung. Es wurden jedoch verbesserte sprachliche und motorische Fähigkeiten im Alter von 3 Jahren gefunden.



8.2.4 Einordnung der einzelnen Studien in eine der drei Qualitätskategorien (hoch, moderat, gering), basierend auf dem Biasrisiko für einzelne Kriterien am Beispiel der experimentellen Studien

Abb. 8.1 Einordnung der Studien in die Qualitätskategorien hoch, moderat und gering am Beispiel der analysierten experimentellen Studien

Qualitätskategorie	Bedingungen		Bias-Risiko-Kriterien (Schlüsselkriterien sind fettgedruckt bzw. schwarz umrandet)							
			Confidence in the exposure assessment	Confidence in the outcome	Identical experimental conditions across study groups	Randomization exposure level	Blinding of research personnel/ subjects	Attrition/exclusion rate	All measured outcomes reported	Other potential threats
hoch	"definitiv geringes Bias-Risiko" (++) oder "wahrscheinlich geringes Bias-Risiko" (+) in allen Schlüsselkriterien UND "definitiv niedriges Bias-Risiko" (++) oder "wahrscheinlich geringes Bias-Risiko" (+) in $\geq 50\%$ der verbleibenden Kriterien	Beispiel 1	+	++	+	+	-	-	++	+
moderat	Studien, die weder der hohen noch der niedrigen Qualitätskategorie zugeordnet werden können	Beispiel 2	++	-	+	-	+	+	++	-
		Beispiel 3	+	-	-	-	++	+	--	+
		Beispiel 4	-	--	+	+	++	-	+	+
gering	"definitiv hohes Bias-Risiko" (-) oder "wahrscheinlich hohes Bias-Risiko" (-) in allen Schlüsselkriterien UND "definitiv hohes Bias-Risiko" (-) oder "wahrscheinlich hohes Bias-Risiko" (-) in $\geq 50\%$ der verbleibenden Kriterien	Beispiel 5	--	-	-	+	++	-	-	-

++ = definitiv geringes Biasrisiko, + = wahrscheinlich geringes Biasrisiko,
- = wahrscheinlich hohes Biasrisiko oder -- = definitiv hohes Biasrisiko

Quellen: modifiziert nach dem vom National Toxicology Program's Office of Health Assessment and Translation (OHAT) veröffentlichten Protokoll (NTP 2015a, NTP 2015b).

Erklärung zur Abbildung 8.1: Für die Kategorie »hohe Studienqualität« musste eine Studie in allen 3 Schlüsselkriterien mit einem »definitiv geringen Biasrisiko« (++) oder einem »wahrscheinlich geringen Biasrisiko« (+) bewertet worden sein. Zudem mussten $\geq 50\%$ der verbleibenden Kriterien mit einem »definitiv geringen Biasrisiko« (++) oder einem »wahrscheinlich geringen Biasrisiko« (+) bewertet worden sein. Für die Kategorie »niedrige Studienqualität« musste eine Studie in den 3 Schlüsselkriterien mit »wahrscheinlich hohes Biasrisiko« (-) oder »definitiv hohes Biasrisiko« (--) eingestuft worden sein und in $\geq 50\%$ der verbleibenden Kriterien mit »wahrscheinlich hohes Biasrisiko« (-) oder »definitiv

hohes Biasrisiko« (--) bewertet worden sein. Alle anderen Studien wurden der moderaten Qualitätskategorie zugeordnet.

8.3 Literatur zu Kap. 8.1 und 8.2

Im Folgenden werden die Publikationen aufgelistet, die in diesem Anhang (Kap. 8.1 u. 8.2) erwähnt werden:

- Abramson, M.; Benke, G.; Dimitriadis, C.; Inyang, I.; Sim, M.; Wolfe, R.; Croft, R. (2009): Mobile telephone use is associated with changes in cognitive function in young adolescents. In: *Bioelectromagnetics* 30(8), S.678–686
- Advisory Group on Non-ionising Radiation (2012): Health effects from radiofrequency electromagnetic fields. London, Chilton, Didcot, Oxfordshire: Health Protection Agency; Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards (Documents of the Health Protection Agency. Radiation, chemical and environmental hazards, REC-20)
- AirFuel Alliance (2018): Our Members – AirFuel Alliance. <https://airfuel.org/about/#leadership> (4.4.2022)
- Anderson, M.; Jiang, J. (2018): Teens, Social Media and Technology 2018. Pew Research Center, 31.5.2018, <https://www.pewresearch.org/internet/2018/05/31/teens-social-media-technology-2018/> (10.10.2020)
- ANSES (2013a): Update of the »Radiofrequencies and health« expert appraisal. Maisons-Alfort, https://www.anses.fr/en/system/files/PRES2013CPA18EN_0.pdf (26.6.2020)
- ANSES (2013b): OPINION of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety concerning the update of the »Radiofrequency electromagnetic fields and health« expert appraisal. Maisons-Alfort (ANSES Opinion, 2011-SA-0150), <https://www.anses.fr/en/system/files/AP2011sa0150RaEN.pdf> (8.1.2020)
- ANSES (2015): Exposition aux agents physiques et aux nouvelles technologies: quels effets sanitaires? Rencontres scientifiques de l'ANSES: Restitution du programme national de recherche environnement santé travail. <https://www.anses.fr/fr/system/files/RSC121015-DossierParticipant.pdf> (26.6.2020)
- ANSES (2016a): Expert appraisal of »Exposure to radiofrequencies and child health«. Maisons-Alfort
- ANSES (2016b): Regards sur dix ans de recherche – Le PNR EST, de 2006 à 2015. Édition scientifique. Maisons-Alfort (Les Cahiers de la Recherche – Santé, Environnement, Travail 8), <https://www.anses.fr/fr/system/files/CDLR-mg-Regards10ansPNREST8.pdf> (8.1.2020)
- ANSES (2017a): Radiofréquences & santé. Maisons-Alfort.
- ANSES (2017b): Radiofréquences et Santé. Comprendre où en est la recherche (Les Cahiers de la Recherche – Santé, Environnement, Travail 9), <https://www.anses.fr/fr/system/files/CDLR-mg-RadiofrequencesetSante9.pdf> (26.11.2019)
- ANSES (2018a): Hypersensibilité aux ondes électromagnétiques ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques. Avis de l'ANSES – Rapport d'expertise collective (Saisine n°»2011-SA-0150«), <https://www.anses.fr/fr/content/hypersensibilit%C3%A9-aux-ondes-%C3%A9lec>



- tromagn%C3%A9tiques-amplifier-l%E2%80%99effort-de-recherche-et-adapter-la (25.9.2020)
- ANSES (2018b): AVIS de l'Anses relatif à une demande de note d'analyse des résultats préliminaires de l'étude du National Toxicology Program américain sur l'exposition animale à des radiofréquences (2016-SA-0176). <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2016SA0176.pdf> (8.1.2020)
- ANSES (2018c): Réponses aux questions soulevées par les résultats provisoires de l'étude du programme toxicologique américain (NTP) sur les effets sanitaires potentiels des rayonnements radiofréquences émis par les téléphones mobiles sur des rats et souris (2016-SA-0176). <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2016SA0176-Anx1.pdf> (26.11.2019)
- ANSES (2018d): Réponses aux questions soulevées par les résultats provisoires de l'étude du programme toxicologique américain (NTP) sur les effets sanitaires potentiels des rayonnements radiofréquences émis par les téléphones mobiles sur des rats et souris
- Aschermann, T. (2017): Kabelloses Laden (QI) nachrüsten – so klappt's. Chip, https://praxistipps.chip.de/kabelloses-laden-qi-nachruersten-so-klappts_51391
- Aydin, D.; Feychting, M.; Schüz, J.; Andersen, T.; Poulsen, A.; Prochazka, M. et al. (2011a): Predictors and overestimation of recalled mobile phone use among children and adolescents. CEFALO study. In: Progress in biophysics and molecular biology 107(3), S.356–361
- Aydin, D.; Feychting, M.; Schüz, J.; Tynes, T.; Andersen, T.; Schmidt, L. Samso et al. (2011b): Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multi-center case-control study. CEFALO study. In: Journal of the National Cancer Institute 103 (16), S.1264–1276
- BAG (2016a): Faktenblatt Babyfon. Bundesamt für Gesundheit, Schweizerische Eidgenossenschaft. Bern. <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/nis/faktenblaetter-emf/faktenblatt-babyfon.pdf.download.pdf/faktenblatt%20babyfon%20d.pdf> (28.11.2017)
- BAG (2016b): Faktenblatt Bluetooth. Bundesamt für Gesundheit, Schweizerische Eidgenossenschaft. Bern. <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/nis/faktenblaetter-emf/faktenblatt-bluetooth.pdf.download.pdf/faktenblatt%20bluetooth%20d.pdf> (1.12.2017)
- BAG (2016c): Faktenblatt Induktionskochherd. Bundesamt für Gesundheit, Schweizerische Eidgenossenschaft. Bern. <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/nis/faktenblaetter-emf/faktenblatt-induktionskochherd.pdf> (6.11.2017)
- BAG (2016d): Faktenblatt Mikrowellenofen. Bundesamt für Gesundheit, Schweizerische Eidgenossenschaft. Bern. <http://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/nis/faktenblaetter-emf/faktenblatt-mikrowellenofen.pdf> (6.11.2017)
- BAG (2016e): Faktenblatt Smartphone. Bundesamt für Gesundheit, Schweizerische Eidgenossenschaft. Bern. <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/nis/faktenblaetter-emf/faktenblatt-smartphone.pdf.download.pdf/faktenblatt%20smartphone%20d.pdf> (28.11.2017)
- BAG (2016f): Faktenblatt WLAN. Bundesamt für Gesundheit, Schweizerische Eidgenossenschaft. Bern. <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/nis/faktenblaetter-emf/faktenblatt-wlan.pdf.download.pdf/faktenblatt%20wlan%20d.pdf> (30.11.2017)

- Bauer, C. (2019): Kabelloses Laden: Die besten Handys mit Induktion nach Qi-Standard. Chip, https://www.chip.de/artikel/kabelloses-laden-die-besten-handys-mit-induktion-nach-qi-standard_118253 (15.10.2020)
- BERENIS (2018): Newsletter-Sonderausgabe November 2018. Beratende Expertengruppe nicht-ionisierende Strahlung. Zürich, <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/elektrosmog/fachinfo-daten/Newsletter%20BERENIS%20-%20Sonderausgabe%20November%202018.pdf.download.pdf/Newsletter%20BERENIS%20-%20Sonderausgabe%20November%202018%20-%20DEUTSCH.pdf> (26.11.2019)
- Betzalel, N.; Feldman, Y.; Ben Ishai, P. (2017): The Modeling of the Absorbance of Sub-THz Radiation by Human Skin. In: IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology 7(5), S. 521–528
- Betzalel, N.; Ben Ishai, P.; Feldman, Y. (2018): The human skin as a sub-THz receiver – Does 5G pose a danger to it or not? In: Environmental research 163, S. 208–216
- BfS (2008): Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms German Mobile Telecommunication Research Programme (DMF). Bewertung der gesundheitlichen Risiken des Mobilfunks. Stand: 15.5.2008. Salzgitter (BfS-SG, 10). <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201108036032>
- BfS (2012): Hochfrequente elektromagnetische Felder im Haushalt – Mikrowellengeräte. Salzgitter. https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/emf/info-mikrowellengeraeete.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- BfS (2017a): LTE – Long Term Evolution. Bundesamt für Strahlenschutz. https://www.bfs.de/DE/themen/emf/mobilfunk/basiswissen/lte/lte_node.html
- BfS (2017b): Zusammenstellung von SAR-Werten von Handys. http://www.bfs.de/SiteGlobals/Forms/Suche/BfS/DE/SARsuche_Formular.html
- BfS (2018): Programmreport 2017. Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Salzgitter (BfS-SCHR, 64/18). urn:nbn:de:0221-2018071915600
- BfS (2019a): 5G. http://www.bfs.de/DE/themen/emf/mobilfunk/basiswissen/5g/5g_node.html
- BfS (2019b): Wissenschaftlich diskutierte biologische und gesundheitliche Wirkungen hochfrequenter Felder. <http://www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/wirkung/hff-diskutiert/hff-diskutiert.html>
- Bhatt, C.; Benke, G.; Smith, C.; Redmayne, M.; Dimitriadis, C.; Dalecki, A. et al. (2017): Use of mobile and cordless phones and change in cognitive function: a prospective cohort analysis of Australian primary school children. In: Environmental health: a global access science source 16(1), S. 62
- Bioinitiative Working Group (2012): A Rationale for Biologically-based Exposure Standards for Low-Intensity Electromagnetic Radiation. Behari, J.; Rajamani, P.; Bellieni, C. et al., Sage, C.; Carpenter, D. (Hg.), <http://www.bioinitiative.org/>
- Birks, L.; Guxens, M.; Papadopoulou, E.; Alexander, J.; Ballester, F.; Estarlich, M. et al. (2017): Maternal cell phone use during pregnancy and child behavioral problems in five birth cohorts. In: Environment international 104, S. 122–131
- Bitkom (2019): Mit 10 Jahren haben die meisten Kinder ein eigenes Smartphone. <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Mit-10-Jahren-haben-die-meisten-Kinder-ein-eigenes-Smartphone>
- Bluetooth SIG (2017): Why build with Bluetooth. <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/why-build-with-bluetooth>



- BMU (2019): Fragen und Antworten zur Einführung der 5G-Mobilfunknetze und den damit in Verbindung stehenden elektromagnetischen Feldern (EMF). <https://www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/strahlenschutz/nichtionisierende-strahlung/strahlenschutz-beim-mobilfunk/fragen-und-antworten-zur-einfuehrung-der-5g-mobilfunknetze-und-emf/> (8.9.2020)
- BNetzA (2010a): Allgemeinzuteilung von Frequenzen in den Bereichen 5150 MHz – 5350 MHz und 5470 MHz – 5725 MHz für Funkanwendungen zur breitbandigen Datenübertragung, WAS/WLAN (»Wireless Access Systems including Wireless Local Area Networks«). https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2010_07_WLAN_5GHz_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- BNetzA (2010b): Bluetooth – die Funkalternative zur Verkabelung. <http://emf2.bundesnetzagentur.de/pdf/Bluetooth-BNetzA.pdf> (30.6.2010)
- BNetzA (2010c): UMTS – der Multimedia-Mobilfunk. <http://emf2.bundesnetzagentur.de/pdf/Mobilfunk-BNetzA.pdf>
- BNetzA (2013a): Allgemeinzuteilung von Frequenzen für Babyüberwachungsanlagen. Vfg 4/2013. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2013_04_Babyueberwachungsanlagen_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- BNetzA (2013b): Allgemeinzuteilung von Frequenzen für die Nutzung in lokalen Netzwerken. Wireless Local Area Networks (WLAN) bei 2,4 GHz. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2013_10_WLAN_2,4GHz_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- BNetzA (2015a): Allgemeinzuteilung von Frequenzen für die Nutzung durch schnurlose Telekommunikationsanlagen des Systems DECT. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/DECT_Vfg_25_2015.pdf
- BNetzA (2015b): DECT – Schnurlos-Telefonie. <http://emf2.bundesnetzagentur.de/pdf/DECT-BNetzA.pdf>
- BNetzA (2015c): Funkanwendungen auf den ISM-Bändern. <http://emf3.bundesnetzagentur.de/pdf/ISM-BNetzA.pdf>
- BNetzA (2018a): Allgemeinzuteilung von Frequenzen für die Nutzung durch Ultrabreitband-Anwendungen (UWB). Vfg 73/2018. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2016_37_UWB.pdf;jsessionid=C8D48E790C55709CC97889E512B25515?__blob=publicationFile&v=3
- BNetzA (2018b): Allgemeinzuteilung von Frequenzen für die Nutzung in lokalen Netzwerken; Wireless Local Area Networks (WLAN-Funkanwendungen). Vfg 10/2013 geändert mit Vfg 64/2018. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2013_10_WLAN_2,4GHz_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- BNetzA (2018c): Allgemeinzuteilung von Frequenzen in den Bereichen 5150 MHz – 5350 MHz und 5470 MHz – 5725 MHz für Funkanwendungen zur breitbandigen Datenübertragung, WAS/WLAN (»Wireless Access Systems including Wireless Local Area Networks«). Vfg 151/2018. <https://www.bundesnetzagentur.de/Shared>

- Docs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2010_07_WLAN_5GHz_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=7
- BNetzA (2018d): Allgemeinzuteilung von Frequenzen zur Nutzung durch Funkanwendungen mit geringer Reichweite für nicht näher spezifizierte Anwendungen; Non-specific Short Range Devices (SRD). Vfg 5/2018. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2018_05_SRD_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- BNetzA (2018e): Entscheidung der Präsidentenkammer der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen vom 26. November 2018 über die Festlegungen und Regeln im Einzelnen (Vergaberegeln) und über die Festlegungen und Regelungen für die Durchführung des Verfahrens (Auktionsregeln) zur Vergabe von Frequenzen in den Bereichen 2 GHz und 3,6 GHz. (Aktenzeichen: BK1-17/001). https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/20181126_Entscheidungen_III_IV.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (8.9.2020)
- Bodewein, L.; Schmiedchen, K.; Dechent, D.; Stunder, D.; Graefrath, D.; Winter, L. et al. (2019): Systematic review on the biological effects of electric, magnetic and electromagnetic fields in the intermediate frequency range (300 Hz to 1 MHz). In: Environmental research 171, S.247–259
- Bornkessel, C.; Schubert, M. (2005): Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen. Abschlussbericht »Entwicklung geeigneter Mess- und Berechnungsverfahren«. Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST) GmbH. Kamp-Lintfort. http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_015_AB.pdf
- Bornkessel, C.; Schubert, M.; Wuschek, M. (2013): Bestimmung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch neue Mobilfunktechniken. Vorhaben 3611S80002. Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST) GmbH (Hg.). Salzgitter (BfS-RESFOR, 79/13) <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2013041610546>
- Bornkessel, C.; Schubert, M.; Wuschek, M.; Schmidt, P. (2006a): Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk- und Fernsehsendern. Teile 1 bis 3, Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik. Kamp-Lintfort, http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_085_AB_Teil1.pdf, http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_085_AB_Teil2.pdf, http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_085_AB_Teil3.pdf
- Bornkessel, C.; Schubert, M.; Wuschek, M.; Schmidt, P. (2006b): Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen. Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik (IMST) GmbH. Kamp-Lintfort, http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_025_AB_01.pdf
- Braunschweiger Verkehrs-GmbH (o.J.): Braunschweig fährt jetzt induktiv! Der erste emil-Elektrobus ist auf der M19 unterwegs. https://www.verkehr-bs.de/fileadmin/user_upload/downloads/Emil/A5_emil_Flyer_WEB.pdf



- BUND (2012): Stellungnahme des BUND zur Verordnung zur Änderung der Vorschriften über elektromagnetische Felder und das telekommunikationsrechtliche Nachweisverfahren (Drs. 17/12372). https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/ressourcen_und_technik/ressourcen_elektrosmog_telekommunikationsrechtliche_nachweisverfahren_stellungnahme.pdf
- Bundesregierung (2008): Seniorinnen und Senioren in Deutschland. Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage der Abgeordneten Sibylle Laurischk, Ina Lenke, Miriam Gruß, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP – Drucksache 16/8301 –. Drucksache 16/10155, Berlin
- Bundesregierung (2017): 5G-Strategie für Deutschland. Eine Offensive für die Entwicklung Deutschlands zum Leitmarkt für 5G-Netze und -Anwendungen. Berlin, https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/098-dobrindt-5g-strategie.pdf?__blob=publicationFile
- Byun, Y.-H.; Ha, M.; Kwon, H.-J.; Hong, Y.-C.; Leem, J.-H.; Sakong, J. et al. (2013): Mobile phone use, blood lead levels, and attention deficit hyperactivity symptoms in children: a longitudinal study. In: PloS one 8(3), e59742
- Cash, D.; Clark, W.; Alcock, F.; Dickson, N.; Eckley, N.; Jäger, J. (2002): Salience, Credibility, Legitimacy and Boundaries: Linking Research, Assessment and Decision Making. In: KSG Faculty Research Working Paper Series. http://ssrn.com/abstract_id=372280 (3.4.2020)
- Chabalko, M.; Shahmohammadi, M.; Sample, A. (2017): Quasistatic Cavity Resonance for Ubiquitous Wireless Power Transfer. In: PloS one 12(2): e0169045
- Chen, C.; Ma, Q.; Liu, C.; Deng, P.; Zhu, G.; Zhang, L. et al. (2014): Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation impairs neurite outgrowth of embryonic neural stem cells. In: Scientific reports 4, S. 5103
- Chiu, C.-T.; Chang, Y.-H.; Chen, C.-C.; Ko, M.-C.; Li, C.-Y. (2015): Mobile phone use and health symptoms in children. In: Journal of the Formosan Medical Association = Taiwan yi zhi 114(7), S. 598–604
- Choi, K.-H.; Ha, M.; Ha, E.-H.; Park, H.; Kim, Y.; Hong, Y.-C. et al. (2017): Neurodevelopment for the first three years following prenatal mobile phone use, radio frequency radiation and lead exposure. In: Environmental research 156, S. 810–817
- Choi, S.; Kwon, M.; Chung, J.; Park, J.; Chung, K.-S.; Kim, D. (2014): Effects of short-term radiation emitted by WCD-MA mobile phones on teenagers and adults. In: BMC public health 14, S. 438
- Christ, A.; Klingenböck, A.; Samaras, T.; Neufeld, E.; Kuster, N. (2006): Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich. Abschlussbericht vom Juli 2006. ITIS Foundation. Zürich. http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_055_AB.pdf (18.10.2017)
- Connected Living (2017): Smart Home Index 2017. Unter Mitarbeit von Pietzonka, M.; Schofer, J., Connected Living in Kooperation mit Mücke, Sturm & Company. Berlin. <http://www.muecke-sturm.de/wp-content/uploads/Smart-Home-Index-2017-Smart-Home-MSc.pdf> (1.12.2017)
- Croft, R.; Leung, S.; McKenzie, R.; Loughran, S.; Iskra, S.; Hamblin, D.; Cooper, N. (2010): Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly. In: Bioelectromagnetics 31(6), S. 434–444
- Danker-Hopfe, H.; Dorn, H.; Eggert, T.; Sauter, C. (2019a): Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Frauen. Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz. BfS

- (Hg.), Salzgitter (BfS-RESFOR-143/19), http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2019013117414/3/BfS_2019_3614S30012.pdf (26.9.2019)
- Danker-Hopfe, H.; Eggert, T.; Dorn, H.; Sauter, C. (2019b): Effects of RF-EMF on the Human Resting-State EEG – the Inconsistencies in the Consistency. Part 1: Non-Exposure-Related Limitations of Comparability Between Studies. In: *Bioelectromagnetics* 40(5), S. 291–318
- Davison, D. (2017): From wireless to dynamic electric vehicle charging: The evolution of Qualcomm Halo. Qualcomm. <https://www.qualcomm.com/news/onq/2017/05/18/wireless-dynamic-ev-charging-evolution-qualcomm-halo> (15.10.2020)
- Destatis (2017): Wirtschaftsrechnungen: Private Haushalte in der Informationsgesellschaft. Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien. Statistisches Bundesamt (Fachserie 15, Reihe 4). <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/EinkommenKonsumLebensbedingungen/PrivateHaushalte/PrivateHaushalteIKT2150400177004.pdf> (9.1.2018)
- Destatis (2019): Ausstattung privater Haushalte mit Informations- und Kommunikationstechnik – Deutschland. https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/AusstattungGebrauchsgueter/Tabellen/Infotechnik_D.html (29.8.2019)
- Destatis (2020): Ausstattung mit Gebrauchsgütern. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/Tabellen/liste-gebietsstaende-haushaltsgeraete.html;jsessionid=C7D5FDC88487913D1252986D11A71CF1.internet8742> (28.10.2020)
- DG Energy (2017): Ecodesign Preparatory study on Smart Appliances (Lot 33). MEERP Tasks 1–6. Koen Vanthournout, Helena Gerard, Ana Virag, Dominic Ectors, Sarah Bogaert, Sven Claessens et al. European Commission Directorate-General for Energy. Brüssel. http://www.eco-smartappliances.eu/Documents/Ecodesign%20Preparatory%20Study%20on%20Smart%20Appliances%20_Tasks%201%20to%206.pdf (1.12.2017)
- Divan, H.; Kheifets, L.; Obel, C.; Olsen, J. (2008): Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children. In: *Epidemiology* 19(4), S. 523–529
- Divan, H.; Kheifets, L.; Obel, C.; Olsen, J. (2012): Cell phone use and behavioural problems in young children. In: *Journal of epidemiology and community health* 66(6), S. 524–529
- Divan, H.; Kheifets, L.; Olsen, J. (2011): Prenatal cell phone use and developmental milestone delays among infants. In: *Scandinavian journal of work, environment & health* 37(4), S. 341–348
- DKE (2016): Der Technische Leitfaden. Ladeinfrastruktur Elektromobilität. Version 2. Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e. V., Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke und Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. (Hg.), DKE/AK EMOBILITY.60. <https://www.dke.de/resource/blob/988408/750e290498bf9f75f50bb86d520caba7/leitfaden-elektromobilitaet-2016--data.pdf> (11.1.2018)
- Dürrenberger, G.; Fröhlich, J. (2018): Kommentar zu den Tierstudien vom NTP und vom Ramazzini Institut. FSM – Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation; krebsligs schweiz. Zürich. https://www.emf.ethz.ch/fileadmin/user_upload/Neue_Tierstudien.pdf (25.11.2019)



- Dürrenberger, G.; Klaus, G. (2004): EMF von Energiesparlampen: Feldmessungen und Expositionsabschätzungen im Vergleich zu anderen Quellen im Alltag. Forschungsstiftung Mobilkommunikation. Zürich. <https://www.newsadmin.ch/newsd/message/attachments/478.pdf> (6.11.2017)
- Durusoy, R.; Hassoy, H.; Özkurt, A.; Karababa, A. (2017): Mobile phone use, school electromagnetic field levels and related symptoms: a cross-sectional survey among 2150 high school students in Izmir. In: *Environmental health: a global access science source* 16(1), S.51
- Elliott, P.; Toledano, M.; Bennett, J.; Beale, L.; de Hoogh, K.; Best, N.; Briggs, D. (2010): Mobile phone base stations and early childhood cancers: case-control study. In: *BMJ (Clinical research ed.)* 340, c3077
- ETSI (2013): TS 102 939-1, V1.1.1 – Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Ultra Low Energy (ULE); Machine to Machine Communications; Part 1: Home Automation Network (phase 1). European Telecommunications Standards Institute. http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102900_102999/10293901/01.01.01_60/ts_10293901v010101p.pdf (17.11.2017)
- ETSI (2016): EN 301 406, V2.2.2 – Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of the Directive 2014/53/EU. http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301400_301499/301406/02.02.02_60/en_301406v020202p.pdf (17.11.2017)
- ETSI (2019): Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT). <https://www.etsi.org/technologies/dect> (29.8.2019)
- Falcioni, L.; Bua, L.; Tibaldi, E.; Lauriola, M.; de Angelis, L.; Gnudi, F. et al. (2018): 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. In: *Environmental research* 165, S.496–503
- Femu (Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit) (2019): Aktuelle Forschungen und Ergebnisse zu EMF-Risiken für Kinder und ältere Menschen (Drießen, S.; Dechent, D.; Bodewein, L.; Krause, T.; Gräfrath, D.) Uniklinik RWTH Aachen, Aachen
- Feychting, M. (2011): Mobile phones, radiofrequency fields, and health effects in children – epidemiological studies. In: *Progress in biophysics and molecular biology* 107 (3), S.343–348
- FfE (2012): Alltagstauglichkeit des induktiven Ladens. Endbericht. (Rasilier, T.) Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. München. https://www.ffe.de/download/article/411/20120221_Bericht_Alltagstauglichkeit_Induktives_Laden.pdf (6.12.2017)
- Föderaler Öffentlicher Dienst Volksgesundheit, Sicherheit der Nahrungsmittelkette und Umwelt (FÖD) (2014): Elektromagnetische Felder und Gesundheit. Ihr Wegweiser durch die elektromagnetische Landschaft. Brüssel. https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/19090388/Brochure_elektromagnetische_DE_kl_resolutie.pdf (13.8.2019)
- Foerster, M.; Thielens, A.; Joseph, W.; Eeftens, M.; Rösli, M. (2018): A Prospective Cohort Study of Adolescents' Memory Performance and Individual Brain Dose of Microwave Radiation from Wireless Communication. In: *Environmental health perspectives* 126(7), S.77007
- Foster, K.; Chou, C.-K. (2014): Are Children More Exposed to Radio Frequency Energy From Mobile Phones Than Adults? In: *IEEE Access* 2, S.1497–1509

- Foster, K.; Chou, C.-K. (2016): Response to »Children Absorb Higher Doses of Radio Frequency Electromagnetic Radiation From Mobile Phones Than Adults« and »Yes the Children Are More Exposed to Radiofrequency Energy From Mobile Telephones Than Adults«. In: IEEE Access 4, S. 5322–5326
- Fraunhofer ICT (2017): Mikrowellen- und Plasmatechnologie. <https://www.ict.fraunhofer.de/de/komp/pe/mp.html> (17.11.2017)
- FSM (2017): Aktuelle Forschungen zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen bzw. Risiken der (HF-)EMF. (Dürrenberger, G.; Fröhlich, J.) FSM – Forschungsförderung Strom und Mobilkommunikation. Zürich
- Gandhi, O. (2015): Yes the Children Are More Exposed to Radiofrequency Energy From Mobile Telephones Than Adults. In: IEEE Access 3, S. 985–988
- Gandhi, O.; Morgan, L.; de Salles, A.; Han, Y.-Y.; Herberman, R.; Davis, D. (2012): Exposure limits: the underestimation of absorbed cell phone radiation, especially in children. In: Electromagnetic biology and medicine 31(1), S. 34–51
- Georg, R.; Landstorfer, F.; Jakobus, U. (2005): Bestimmung der SAR-Werte, die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftreten. Schlussbericht Projektlaufzeit 1.12.2003 bis 31.5.2005. Kronberg u. a. O., http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_050_AB_110106.pdf (18.9.2019)
- Georg, R.; Landstorfer, F.; Schmid, G. (2006): Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien. Kronberg u. a. O., http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_035_AB_01.pdf, http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_035_AB_02.pdf, http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_035_AB_03.pdf (18.10.2017)
- GfK (2017): AMK-Jahreswirtschafts-Presskonferenz 2017. »Wirtschaftsfaktor Küche«. <http://www.amk.de/wp-content/uploads/2017/05/4-GfK-Praesentation-AMK-Wirtschafts-PK-2017-0805.pdf> (12.12.2017)
- Gfu (2016): Smartes Genießen – welche Technikprodukte beim Kunden im Fokus stehen. gfu Consumer & Home Electronics GmbH. <http://www.gfu.de/presse-raum/uebersicht/smartes-geniessen-welche-technikprodukte-beim-kunden-im-fokus-stehen/>, 12.12.2017
- Gläser, K. (2017): Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro. Effects of radiofrequency radiation on the human hematopoietic system in vitro. Dissertation, Würzburg. https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/files/14573/Glaeser_Katharina_Dissertation_Mobilfunk.pdf (29.11.2019)
- Goodwins, R. (2018): Next-generation 802.11ax wi-fi: Dense, fast, delayed. In: ZDNet, 03.10.2018. <https://www.zdnet.com/article/next-generation-802-11ax-wi-fi-dense-fast-delayed/> (15.10.2020)
- Greis, F. (2017): Elektromobilität: Qualcomm lädt E-Autos während der Fahrt auf. Golem.de. <https://www.golem.de/news/elektromobilitaet-qualcomm-laedt-e-autos-waehrend-der-fahrt-auf-1705-128011.html> (11.1.2018)
- Grigoriev, Y. (2004): Mobile phones and children: is precaution warranted? In: Bioelectromagnetics 25(5), 322–3; author reply 323, DOI: 10.1002/bem.20041
- Gröger, J.; Küppers, C.; Wendt, S. (2017): Systematische Beschreibung der EMF-Emissionen elektrischer Geräte und Anlagen. Öko-Institut, Berlin/Darmstadt
- Großmann, D. (2015): Induktives Laden für E-Fahrzeuge. ISO/IEC-15118-Standardisierung. In: emobility.tec (04), S. 26–29



- Guxens, M.; Vermeulen, R.; van Eijnden, M.; Beekhuizen, J.; Vrijkotte, T.; van Strien, R. et al. (2016): Outdoor and indoor sources of residential radiofrequency electromagnetic fields, personal cell phone and cordless phone use, and cognitive function in 5–6 years old children. In: *Environmental research* 150, S. 364–374
- Guxens, M.; van Eijnde, M.; Vermeulen, R.; Loomans, E.; Vrijkotte, T.; Kromhout, H. et al. (2013): Maternal cell phone and cordless phone use during pregnancy and behaviour problems in 5-year-old children. In: *Journal of epidemiology and community health* 67 (5), S. 432–438
- Guxens, M.; Vermeulen, R.; Steenkamer, I.; Beekhuizen, J.; Vrijkotte, T.; Kromhout, H.; Huss, A. (2019): Radiofrequency electromagnetic fields, screen time, and emotional and behavioural problems in 5-year-old children. In: *International journal of hygiene and environmental health* 222(2), S. 188–194
- Haarala, C.; Bergman, M.; Laine, M.; Revonsuo, A.; Koivisto, M.; Hämäläinen, H. (2005): Electromagnetic field emitted by 902 MHz mobile phones shows no effects on children's cognitive function. In: *Bioelectromagnetics Suppl* 7, S. 144–150
- Hansen, V.; Mbonjo, H.; Streckert, J.; Zhou, Y. (2007a): Entwicklung eines praktikablen rechentechnischen Verfahrens zur Ermittlung der tatsächlichen Exposition in komplizierten Immissionsszenarien mit mehreren verschiedenartigen HF-Quellen. Abschlussbericht 31. August 2007. Bergische Universität Wuppertal. Wuppertal. http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_090_AB.pdf (19.9.2019)
- Hansen, V.; Mbonjo, H.; Streckert, J.; Zhou, Y. (2007b): Untersuchung des Einflusses von Antennen- und Gerätetopologien von körpernah betriebenen drahtlosen Kommunikationsendgeräten auf die von diesen verursachten SAR-Werte. Abschlussbericht zum 31. Oktober 2007. Bergische Universität Wuppertal. Wuppertal. http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_091_AB.pdf (19.9.2019)
- Hardell, L. (2017): World Health Organization, radiofrequency radiation and health – a hard nut to crack (Review). In: *International journal of oncology* 51 (2), S. 405–413
- Hardell, Lennart; Carlberg, Michael (2019): Comments on the US National Toxicology Program technical reports on toxicology and carcinogenesis study in rats exposed to whole-body radiofrequency radiation at 900 MHz and in mice exposed to whole-body radiofrequency radiation at 1,900 MHz. In: *International journal of oncology* 54(1), S. 111–127
- Hardell, L.; Mild, K.; Carlberg, M.; Hallquist, A. (2004): Cellular and cordless telephone use and the association with brain tumors in different age groups. In: *Archives of environmental health* 59(3), S. 132–137
- Hayon, D. (2020): Telekom, Vodafone und O2 schalten UMTS-Netz ab: So sieht der Plan für den 3G-Exit aus. Chip. https://www.chip.de/news/Telekom-Vodafone-und-O2-schalten-UMTS-Netz-ab-So-sieht-der-Fahrplan-fuer-die-3G-Abschaltung-aus_160804410.html (15.10.2020)
- Health Council of the Netherlands (2011): Influence of radiofrequency telecommunication signals on children's brains. Den Haag (U-6780/EvR/bp/673). <https://www.healthcouncil.nl/binaries/healthcouncil/documents/advisory-reports/2011/10/18/influence-of-radiofrequency-telecommunication-signals-on-children%E2%80%99s-brains/advisory-report-influence-of-radiofrequency-telecommunication-signals-on-childrens-brains.pdf> (13.8.2019)
- Heinrich, S.; Thomas, S.; Heumann, C.; von Kries, R.; Radon, K. (2010): Association between exposure to radiofrequency electromagnetic fields assessed by dosimetry

- and acute symptoms in children and adolescents: a population based cross-sectional study. In: *Environmental health: a global access science source* 9(1), S. 75
- Heinrich, S.; Thomas, S.; Heumann, C.; von Kries, R.; Radon, K. (2011): The impact of exposure to radio frequency electromagnetic fields on chronic well-being in young people – A cross-sectional study based on personal dosimetry. In: *Environment international* 37(1), S. 26–30
- Högg, R.; Dürrenberger, G. (2017): Divergierende Risikobewertung im Bereich Mobilfunk. Vorhaben FM 8865. Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz. BfS (Hg.), Salzgitter (BfS-RESFOR, 121/17). http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2017050314269/3/BfS_2017_FM8865.pdf (26.9.2019)
- Hug, K.; Achermann, P.; Dürrenberger, G.; Kuster, N.; Mevissen, M.; Schär, P.; Rösli, M. (2014): Beurteilung der Evidenz für biologische Effekte schwacher Hochfrequenzstrahlung. Basel. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/elektromog/externe-studien-berichte/beurteilung_der_evidenzfuerbiologischeeffekte_schwacherhochfrequenzstrahlung.pdf (13.8.2019)
- Huss, A.; van Eijsden, M.; Guxens, M.; Beekhuizen, J.; van Strien, R.; Kromhout, H. et al. (2015): Environmental Radiofrequency Electromagnetic Fields Exposure at Home, Mobile and Cordless Phone Use, and Sleep Problems in 7-Year-Old Children. In: *PloS one* 10(10), e0139869
- Huss, J. (2011): The potential dangers of electromagnetic fields and their effect on the environment. Report Committee on the Environment, Agriculture and Local and Regional Affairs. Parliamentary Assembly of the Council of Europe (Doc. 12608). <http://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/X2H-Xref-ViewPDF.asp?FileID=13137&lang=en> (18.3.2020)
- IARC Monographs Advisory Group (2019): Advisory Group recommendations on priorities for the IARC Monographs. In: *The Lancet Oncology* 20(6), S. 763–764
- IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2013): Non-Ionizing Radiation. Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields. Lyon, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 102, <https://publications.iarc.fr/publications/media/download/3143/6464cac7e8eca3fa20f11d4d134613e4870158c5.pdf> (23.10.2019)
- ICNIRP (1998): ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. In: *Health Physics* 74(4), S. 494–522
- ICNIRP (2008): Statutes of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection e. V. Approved at the Commission Meeting, Rio de Janeiro, 13.–14. Oktober 2008, <https://www.icnirp.org/cms/upload/doc/statutes.pdf> (24.3.2020)
- ICNIRP (2009): ICNIRP Statement on the »Guidelines for Limiting Exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic Fields (Up To 300 Ghz)«. In: *Health Physics*, 97(3), S. 257–258
- ICNIRP (2010): ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz). In: *Health Physics* 99(6): S. 818–836
- ICNIRP (2019): ICNIRP Note: Critical Evaluation of Two Radiofrequency Electromagnetic Field Animal Carcinogenicity Studies Published in 2018. In: *Health Physics*, DOI: 10.1097/HP.0000000000001137
- ICNIRP (2020): Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). In: *Health Physics*, DOI: 10.1097/HP.0000000000001210



- ICNIRP (1998): ICNIRP GUIDELINES. For Limiting Exposure To Time-Varying Electric, Magnetic And Electromagnetic Fields (Up To 300 Ghz). In: *Health Physics* 74(4), S.494–522
- IRGC (2017a): Introduction to the IRGC Risk Governance Framework. Revised Version 2017. EPFL International Risk Governance Center (Hg.), Lausanne. <https://infoscience.epfl.ch/record/233739/files/IRGC.%20%282017%29.%20An%20introduction%20to%20the%20IRGC%20Risk%20Governance%20Framework.%20Revised%20version.pdf> (19.3.2020)
- IRGC (2017b): IRGC Guidelines for the Governance of Systemic Risks. <https://irgc.org/risk-governance/systemic-risks/guidelines-governance-systemic-risks-context-transitions/> (3.4.2020)
- Israel Ministry of Health (2019): Mobile Phone Radiation. https://www.health.gov.il/English/Topics/radiation/cell_phone/Pages/default.aspx (12.8.2019)
- ITA; AIT (2020): 5G-Mobilfunk und Gesundheit. Die aktuelle Einschätzung des Evidenzstandes zu möglichen Gesundheitsrisiken von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks durch anerkannte wissenschaftliche Gremien. Wien (ITA-AIT, 11). https://www.parlament.gv.at/ZUSD/FTA/5G-Gesundheit_Endbericht_final.pdf (16.3.2020)
- IZMF (2015): Systematische Erfassung der Hochfrequenz-Exposition im Alltag. Messstudie im Auftrag des Informationszentrums Mobilfunk e.V. mit Unterstützung des Referats für Gesundheit und Umwelt der Landeshauptstadt München. Messbroschüre. Informationszentrum Mobilfunk e.V., Berlin
- Jedrychowski, W.; Perera, F.; Jankowski, J.; Mrozek-Budzyn, D.; Mroz, E.; Flak, E. et al. (2009): Very low prenatal exposure to lead and mental development of children in infancy and early childhood: Krakow prospective cohort study. In: *Neuroepidemiology* 32(4), S.270–278
- Jordan, M. (2018): Daimler verzichtet vorerst auf induktive Ladefunktion – Mercedes-Benz Passion Blog/Mercedes Benz, smart, Maybach, AMG. <https://blog.mercedes-benz-passion.com/2018/09/daimler-verzichtet-vorerst-auf-induktive-ladenfunktion/> (15.10.2020)
- Kabali, H.; Irigoyen, M.; Nunez-Davis, R.; Budacki, J.; Mohanty, S.; Leister, K.; Bonner, R. (2015): Exposure and Use of Mobile Media Devices by Young Children. In: *Pediatrics* 136(6), S.1044–1050
- Kastenhofer, K.; Mesbahi, K.; Schaber, F. (2020): 5G-Mobilfunk und Gesundheit. Die aktuelle Einschätzung des Evidenzstandes zu möglichen Gesundheitsrisiken von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks durch anerkannte wissenschaftliche Gremien. Projektbericht Nr.: ITA-AIT-11. Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA) (Hg.). <http://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte/ITA-AIT-11.pdf> (15.10.2020)
- KBV (2019): Altersgruppen. Kassenärztliche Bundesvereinigung, Berlin. https://www.kbv.de/tools/ebm/html/4.3.5_162395004446927562274884.html (13.8.2019)
- Osman Kilic, A.; Sari, E.; Yucel, H.; Melek Oguz, M.; Polat, E.; Altinel Acoglu, E.; Senel, S. (2019): Exposure to and use of mobile devices in children aged 1–60 months. In: *European journal of pediatrics* 178(2), S.221–227
- Klose, M. (2015): Tumorpromotion durch hochfrequente elektromagnetische Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen – synergistische Wirkungen –. Vorhaben 3611S30017. Bundesamt für Strahlenschutz (Hg.), Salzgitter (BfS-RESFOR, 104/15). <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2015031812720> (28.2.2020)

- Krause, C.; Björnberg, C.; Pesonen, M.; Hulten, A.; Liesivuori, T.; Koivisto, M. et al. (2006): Mobile phone effects on children's event-related oscillatory EEG during an auditory memory task. In: International journal of radiation biology 82(6), S.443–450
- Krzossa, T. (2019): Vodafone startet 5G: Neues Handynet ab morgen – Vodafone Newsroom. <https://www.vodafone.de/newsroom/netz/5g-start-vodafone-startet-5g-in-deutschland/?icmp=ne> (15.10.2020)
- Kühn, S.; Cabot, E.; Christ, A.; Capstick, M.; Leubler, C.; Kuster, N. et al. (2008): Bestimmung von SAR-Werten bei der Verwendung von Headsets für Mobilfunktelefone. Abschlussbericht StSch4526 vom Juli 2008. ITIS Foundation. Zürich. http://www.emf-forschungsprogramm.de/home/akt_emf_forschung.html/dosi_HF_002_AB.pdf (19.9.2019)
- Kühn, S.; Lott, U.; Kramer, A.; Kuster, N. (2005): Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Radiation from Wireless Devices in Home and Office Environments. ITIS Foundation. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/bsw_kuster.pdf (23.9.2019)
- Kwon, M.; Huottilainen, M.; Shestakova, A.; Kujala, T.; Näätänen, R.; Hämäläinen, H. (2010): No effects of mobile phone use on cortical auditory change-detection in children: an ERP study. In: Bioelectromagnetics 31(3), S. 191–199
- Lee, A.-K.; Kwon, J.-H. (2015): Children's Mobile Phone Use and Dosimetry. In: Journal of electromagnetic engineering and science 15(3), S. 167–172
- Lee, T.; Ho, S.; Tsang, L.; Yang, S.; Li, L.; Chan, C.; Yang, S. (2001): Effect on human attention of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones. In: Neuroreport 12(4), S. 729–731
- Lerchl, A. (2008): Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf die metabolische Umsatzrate im Tiermodell (Labornager). Abschlussbericht. Jacobs-University Bremen. http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/biologie/biologie_abges/bio_041_AB.pdf (30.10.2019)
- Lerchl, A. (2018): Synergistische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen – Kokanzerogenität oder Tumorpromotion? Vorhaben 3615S82431. Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz. Bundesamt für Strahlenschutz (Hg.), Salzgitter (BfS-RESFOR, 130/18). <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018011014465>, 28.2.2020
- Lerchl, A.; Klose, M.; Grote, K.; Wilhelm, A.; Spathmann, O.; Fiedler, T. et al. (2015): Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans. In: Biochemical and biophysical research communications 459(4), S. 585–590
- Leung, S.; Croft, R.; McKenzie, R.; Iskra, S.; Silber, B.; Cooper, N. et al. (2011): Effects of 2G and 3G mobile phones on performance and electrophysiology in adolescents, young adults and older adults. In: Clinical Neurophysiology 122(11), S. 2203–2216
- Lewicki, L. (2017): Impact of 5G technology on human exposure. ITU-T Workshop on 5G, EMF & Health. International Telecommunication Union. Warschau, 5.12.2017. https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/20171205/Documents/Fryderyk_Lewicki.pdf (8.9.2020)
- Lin, J. (2019): Memory Function and Cell Phone Microwave Exposure in Youngsters [Health Matters]. In: IEEE Microwave 20(2), S. 16–20
- Lindholm, H.; Alanko, T.; Rintamäki, H.; Kännälä, S.; Toivonen, T.; Sistonen, H. et al. (2011): Thermal effects of mobile phone RF fields on children: A provocation study. In: Progress in biophysics and molecular biology 107(3), S. 399–403



- Liu, J.; Chen, Y.; Gao, D.; Jing, J.; Hu, Q. (2014): Prenatal and postnatal lead exposure and cognitive development of infants followed over the first three years of life: a prospective birth study in the Pearl River Delta region, China. In: *Neurotoxicology* 44, S. 326–334
- Loughran, S.; Benz, D.; Schmid, M.; Murbach, M.; Kuster, N.; Achermann, P. (2013): No increased sensitivity in brain activity of adolescents exposed to mobile phone-like emissions. In: *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology* 124(7), S. 1303–1308
- Loughran, S.; Verrinder, A.; Dalecki, A.; Burdon, C.; Tagami, K.; Park, J. et al. (2019): Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure and the Resting EEG: Exploring the Thermal Mechanism Hypothesis. In: *International journal of environmental research and public health* 16(9), DOI: 10.3390/ijerph16091505
- LUBW; LfU (2017): Elektromagnetische Felder im Alltag. Aktuelle Informationen über Quellen, Einsatz und Wirkungen. http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/13758/elektromagnetische_felder_im_alltag.pdf?command=downloadContent&filename=elektromagnetische_felder_im_alltag.pdf (27.09.2019)
- Markov, M.; Grigoriev, Y. (2015): Protect children from EMF. In: *Electromagnetic biology and medicine* 34(3), S. 251–256
- Melnick, R. (2020): Regarding ICNIRP'S Evaluation of the National Toxicology Program's Carcinogenicity Studies on Radiofrequency Electromagnetic Fields. In: *Health Physics* 118(6), S. 678–682
- Melnick, R. (2019): 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. In: *Environmental research* 168, S. 1–6
- Milde-Busch, A.; von Kries, R.; Thomas, S.; Heinrich, S.; Straube, A.; Radon, K. (2010): The association between use of electronic media and prevalence of headache in adolescents: results from a population-based cross-sectional study. In: *BMC Neurology* 10(1), S. 12
- Missling, S.; Riel, A.; Wuschek, M.; Reidenbach, H.-D.; Weiskopf, D. (2016): Internationaler Vergleich der rechtlichen Regelungen im nicht-ionisierenden Bereich. Band 1: Ländervergleich der Regelungen für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (0 Hz–300 GHz). Vorhaben 3614S80010. BfS (Hg.), Salzgitter (BfS-RESFOR, 109/16). <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2016021914007> (18.3.2020)
- Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J.; Altman, D. (2009): Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. In: *PLoS medicine* 6(7), e1000097
- Morris, R.; Morgan, L. Lloyd; Davis, D. (2015): Children Absorb Higher Doses of Radio Frequency Electromagnetic Radiation From Mobile Phones Than Adults. In: *IEEE Access* 3, S. 2379–2387
- Mortazavi, S.; Atefi, M.; Kholghi, F. (2011): The Pattern of Mobile Phone Use and Prevalence of Self-Reported Symptoms in Elementary and Junior High School Students in Shiraz, Iran. In: *Iranian Journal of Medical Sciences* 36(2), S. 96–103
- Movvahedi, M.; Tavakkoli-Golpayegani, A.; Mortazavi, S.; Haghani, M.; Razi, Z.; Shojai-fard, M. et al. (2014): Does exposure to GSM 900 MHz mobile phone radiation affect short-term memory of elementary school students? In: *Journal of Pediatric Neurosciences* 9(2), S. 121

- Nam, K.; Kim, S.; Kim, S.; Kim, D. (2006): Effects of RF exposure of teenagers and adults by CDMA cellular phones. In: *Bioelectromagnetics* 27(7), S. 509–514
- Narayanan, S.; Kumar, R.; Karun, K.; Nayak, S.; Bhat, P. (2015): Possible cause for altered spatial cognition of prepubescent rats exposed to chronic radiofrequency electromagnetic radiation. In: *Metabolic brain disease* 30(5), S. 1193–1206
- National Center for Biotechnology Information (NCBI) (2019): MeSH term »aged«. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/68000368> (14.8.2019)
- National Toxicology Program (2015a): OHAT Risk of Bias Rating Tool for Human and Animal Studies. Office of Health Assessment and Translation (Hg.). <http://ntp.niehs.nih.gov/go/38673> (14.8.2019)
- National Toxicology Program (2015b): Handbook for Conducting a Literature-Based Health Assessment Using OHAT Approach for Systematic Review and Evidence. https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/ohat/pubs/handbookjan2015_508.pdf (7.8.2019)
- National Toxicology Program (2018): 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. https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/lt_rpts/tr595_508.pdf
- Nationale Plattform Elektromobilität (2017): Die Deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität 2020. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (Hg.), Berlin. http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Publikationen/NormungsRoadmap_Elektromobilitaet_2020_bf.pdf (4.9.2019)
- Negovetic, S.; Regel, S. (2011): Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit. Programmsynthese Nationales Forschungsprogramm NFP 57. Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Hg.). http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/nfp/nfp57/nfp57_synthese_d.pdf (26.6.2020)
- OECD (2014): Recommendation of the Council on the Governance of Critical Risks. Meeting of the OECD Council at Ministerial Level. OECD. Paris. <http://www.oecd.org/gov/risk/Critical-Risks-Recommendation.pdf> (2.4.20120)
- OnePoll (2017): Welche Form von WLAN nutzen Sie zuhause? [Umfrage]. Reichelt Elektronik (Hg.). In: Statista – Das Statistik-Portal. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/733835/umfrage/umfrage-zur-form-der-wlan-nutzung/> (9.1.2018)
- Papadopoulou, E.; Haugen, M.; Schjølberg, S.; Magnus, P.; Brunborg, G.; Vrijheid, M.; Alexander, J. (2017): 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). In: *BMC public health* 17(1), S. 685
- Petermann, K. (2013): Hochfrequenztechnik 1 – Lineare Antennen. Technische Universität Berlin. <https://www.hft.tu-berlin.de/fileadmin/fg154/HFT/Skript/HFTI/LA.pdf> (1.12.2017)
- Petri, A.-K.; Schmiedchen, K.; Stunder, D.; Dechent, D.; Kraus, T.; Bailey, W.; Driesen, S. (2017): Biological effects of exposure to static electric fields in humans and vertebrates: a systematic review. In: *Environmental health: a global access science source* 16(1), S. 41
- Pophof, B. (2014): Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf die männliche Fruchtbarkeit: Bewertende Literaturübersicht. BfS (Hg.), Salzgitter (BfS-SG, 21/14). <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2014031911368>



- Preece, A.; Goodfellow, S.; Wright, M.; Butler, S.; Dunn, E.; Johnson, Y. et al. (2005): Effect of 902 MHz mobile phone transmission on cognitive function in children. In: Bioelectromagnetics Suppl 7, S. 138–143
- Preiner, P.; Schmid, G.; Lager, D.; Georg, R. (2006): Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN-Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten. ARC Seibersdorf research GmbH. Seibersdorf. http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_017_AB.pdf (18.10.2017)
- QInside (2018): Wie funktioniert kabelloses Laden? Die Basis bildet das Induktionsprinzip. Nitz engineering GmbH (Hg.), Brixen. <http://www.qinside.biz/de/support/wie-funktioniert-kabelloses-laden> (4.1.2018)
- Radiocommunication Sector of ITU (ITU-R) (2015): IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. M Series Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services. Recommendation ITU-R M.2083-0. International Telecommunication Union (ITU-R M.2083-0). https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-1!!MSW-E.docx (8.10.2019)
- RAL (2017): Vergabegrundlage für Umweltzeichen. Mobiltelefone – RAL-UZ 106. Ausgabe Juli 2017. RAL gGmbH (Hg.), Bonn. https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/raluz_uz/UZ-106-2017-10-09.zip (30.11.2017)
- Redmayne, M.; Johansson, O. (2015): Radiofrequency exposure in young and old: different sensitivities in light of age-relevant natural differences. In: Reviews on environmental health 30(4), S. 323–335
- Redmayne, M.; Smith, C.; Benke, G.; Croft, R.; Dalecki, A.; Dimitriadis, C. et al. (2016): Use of mobile and cordless phones and cognition in Australian primary school children: a prospective cohort study. In: Environmental health: a global access science source 15(1), S. 26
- Redmayne, M.; Smith, E.; Abramson, M. (2013): The relationship between adolescents' well-being and their wireless phone use: a cross-sectional study. In: Environmental health: a global access science source 12, S. 90
- Reszel, W. (2017): Disneys Magnetfeld-Raum soll Geräte drahtlos mit Strom versorgen. Heise Medien. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Disneys-Magnetfeld-Raum-soll-Geraete-drahtlos-mit-Strom-versorgen-3630509.html> (9.1.2018)
- Riddervold, I.; Pedersen, G.; Andersen, N.; Pedersen, A.; Andersen, J.; Zachariae, R. et al. (2008): Cognitive function and symptoms in adults and adolescents in relation to rf radiation from UMTS base stations. In: Bioelectromagnetics 29(4), S. 257–267
- Roser, K.; Schoeni, A.; Rössli, M. (2016): Mobile phone use, behavioural problems and concentration capacity in adolescents: A prospective study. In: International journal of hygiene and environmental health 219(8), S. 759–769
- RP Online (2017): IFA 2017 – Trends bei Hausgeräten immer schöner, immer schlauer. Rheinische Post. <http://www.rp-online.de/digitales/neuheiten/ifa/ifa-2017-trends-bei-hausgeraeten-immer-schoener-immer-schlauer-aid-1.7041011> (17.11.2017)
- Sage, C.; Burgio, E. (2018): Electromagnetic Fields, Pulsed Radiofrequency Radiation, and Epigenetics: How Wireless Technologies May Affect Childhood Development. In: Child development 89(1), S. 129–136
- Salman, N.; Rasool, I.; Kemp, A. (2010): Overview of the IEEE 802.15.4 standards family for Low Rate Wireless Personal Area Networks. In: de Lamare, R. (Hg.): ISWCS'10. Proceedings of the 2010 7th International Symposium on Wireless

- Communications Systems. York. University of York. [Piscataway, N.J.]: IEEE, S. 701–705
- Sauter, C.; Eggert, T.; Dorn, H.; Danker-Hopfe, H. (2014): Literaturübersicht im Rahmen des Projekts: Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnakktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Personen beider Geschlechter – Vorhaben 3613S30012. Vorhaben 3613S30012. Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz. BfS (BfS-RESFOR, 99/14). https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2014121212043/3/BfS_2014_3613S30012.pdf (25.2.2020)
- SCENIHR (2009a): Health Effects of Exposure to EMF. Brüssel. https://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/04_scenihhr/docs/scenihhr_o_022.pdf (28.10.2020)
- SCENIHR (2009b): Stellungnahme vom 6. Juli 2009 »Forschungsbedarf und Methodik zur Behebung der verbleibenden Wissenslücken über die potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen von EMF«
- SCENIHR (2015): Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. DG Health and Food Safety (Hg.). Brüssel
- Schmid, A. (2018): Induktives Laden: Autobranche kämpft gegen Kabelsalat. BMW, Kia und Continental arbeiten am induktiven Laden. Die ersten Modelle können bereits auf Ladekabel verzichten – und auch der Wirkungsgrad wächst. Edison. <https://edison.handelsblatt.com/erleben/induktives-laden-autobranche-kaempft-gegen-kabelsalat/21268682.html> (3.9.2019)
- Schmid, G.; Cecil, S.; Petric, B.; Neubauer, G.; Pérez L. (2008): Bestimmung der Exposition durch Ultra-Wideband Technologien. Austrian Research Centers GmbH – ARC. Seibersdorf. http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_092_AB.pdf (19.9.2019)
- Schmid, G.; Lager, D.; Preiner, P.; Überbacher, R.; Neubauer, G.; Cecil, S. (2005): Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren in Haushalt und Büro. ARC Seibersdorf research GmbH. Seibersdorf. http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_abges/dosi_030_AB.pdf (18.10.2017)
- Schmid, G.; Überbacher, R.; Cecil, S.; Petric, B.; Göth, P. (2009): Bestimmung der Exposition durch Magnetfelder alternativer Antriebskonzepte. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben; Vorhaben 3608S04574; SL-LE-0004/09. BfS (Hg.). Seibersdorf Labor, Geschäftsfeld EMC & Optics, Fachbereich Elektromagnetische Verträglichkeit. Seibersdorf (BfS-RESFOR-21/09). <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2009082182> (6.11.2017)
- Schmiedchen, K.; Petri, A.-K.; Driessen, S.; Bailey, W. (2018): Systematic review of biological effects of exposure to static electric fields. Part II: Invertebrates and plants. In: Environmental research 160, S. 60–76
- Schoeni, A.; Roser, K.; Bürgi, A.; Rösli, M. (2016): Symptoms in Swiss adolescents in relation to exposure from fixed site transmitters: a prospective cohort study. In: Environmental health: a global access science source 15(1), S. 77
- Schoeni, A.; Roser, K.; Rösli, M. (2017): Symptoms and the use of wireless communication devices. A prospective cohort study in Swiss adolescents. In: Environmental research 154, S. 275–283



- Schoeni, A.; Roser, K.; Rösli, M. (2015): Memory performance, wireless communication and exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A prospective cohort study in adolescents. In: *Environment international* 85, S.343–351
- Schraven, S.; Kley, F.; Wietschel, M. (2010): Working Paper Sustainability and Innovation. No. S 8/2010: Induktives Laden von Elektromobilen – Eine techno-ökonomische Bewertung. Fraunhofer ISI. Karlsruhe. http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e-x/working-papers-sustainability-and-innovation/WP8-2010_Induktive-Ladung-EV.pdf (11.1.2018)
- Shankland, S. (2019): Apple built UWB into the iPhone 11. Here's what you need to know (FAQ). Ultra wideband wireless technology will precisely pinpoint your location. CNet. <https://www.cnet.com/news/apple-built-uwb-into-the-iphone-11-heres-what-you-need-to-know-faq/> (19.9.2019)
- Sienkiewicz, Z.; Schüz, J.; Poulsen, A.; Cardis, E. (2012): Risk analysis of human exposure to electromagnetic fields (revised). Deliverable Report D2 of EHFRAN project. https://webgate.ec.europa.eu/chafea_pdb/assets/files/pdb/20081106/20081106_d1-d9_en_ps.pdf (8.1.2020)
- Simkó, M.; Remondini, D.; Zeni, O.; Scarfi, M. (2016): Quality Matters: Systematic Analysis of Endpoints Related to »Cellular Life« in Vitro Data of Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure. In: *International journal of environmental research and public health* 13(7), DOI: 10.3390/ijerph13070701
- SNF (2011): Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit. Programmsynthese Nationales Forschungsprogramm NFP 57. Unter Mitarbeit von S. Negovetic und Sabine J. Regel. Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung. Bern. http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/nfp/nfp57/nfp57_synthese_d.pdf (8.1.2020)
- Spathmann, O.; Statnikov, K.; Zang, M.; Saviz, M.; Fiedler, T.; Hansen, V.; Streckert, J. (2014): Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Bestimmung der Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung mit Frequenzen im Terahertzbereich – Vorhaben 3610S80001. Bundesamt für Strahlenschutz (Hg.). Salzgitter (BfS-RESFOR, 98/14). <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2014111011856> (26.2.2020)
- SSK (2001): Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern. Empfehlung der SSK. Verabschiedet in der 173. Sitzung der SSK am 4. Juli 2001. https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2001/Grenzwerte_EMF.pdf?__blob=publicationFile (16.9.2019)
- SSK (2007): Grundsätze bei der Ableitung von Emissionsstandards bei gleichzeitig betriebenen Feldquellen. Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 214. Sitzung der SSK am 23. Februar 2007. https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2007/Emissionsstandards_Feldquellen.pdf?__blob=publicationFile (6.11.2017)
- SSK (2008): Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 223. Sitzung der SSK am 13.5.2008. https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2008/Mobilfunk_Forschungsprogramm.pdf?__blob=publicationFile (21.11.2019)
- SSK (2010): Moderne Lichtquellen. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 242. Sitzung der SSK am 1./2. Juli 2010. https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2010/2010_06.pdf?__blob=publicationFile (6.11.2017)

- SSK (2011): Biologische Auswirkungen des Mobilfunks Gesamtschau. https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2011/2011_10.html;jsessionid=FC4D216CFD080D7B5169C496D4167B5D.2_cid391?nn=2041716
- SSK (2013): Elektromagnetische Felder neuer Technologien. Statusbericht der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet auf der 262. Sitzung der SSK am 11./12. Juli 2013. [https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2013/Statusbericht_EMF.pdf?__blob=publicationFile\(6.11.2017\)](https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2013/Statusbericht_EMF.pdf?__blob=publicationFile(6.11.2017))
- SSM's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields (2009): Recent Research on EMF and Health Risks. Sixth annual report from SSM:s independent Expert Group on Electromagnetic Fields 2009. Swedish Radiation Safety Authority (SSM). [https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/921664c245584802811f517dbba81e7d/200936-recent-research-on-emf-and-health-risks.-sixth-annual-report-from-ssms-independent-expert-group-on-electromagnetic-fields-2009\(21.10.2019\)](https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/921664c245584802811f517dbba81e7d/200936-recent-research-on-emf-and-health-risks.-sixth-annual-report-from-ssms-independent-expert-group-on-electromagnetic-fields-2009(21.10.2019))
- SSM's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields (2010): Recent Research on EMF and Health Risk. Seventh annual report from SSM:s Independent Expert Group on Electromagnetic Fields, 2010. [https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/63e6735284dc4634830c4dd6003d9b07/201044-recent-research-on-emf-and-health-risk-seventh-annual-report-from-ssms-independent-expert-group-on-electromagnetic-fields-2010\(21.10.2019\)](https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/63e6735284dc4634830c4dd6003d9b07/201044-recent-research-on-emf-and-health-risk-seventh-annual-report-from-ssms-independent-expert-group-on-electromagnetic-fields-2010(21.10.2019))
- SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields (2013): Eight report from SSM:s Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2013. [https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/7f20edcd0b024940bca450d596568e30/201319-eighth-report-from-ssms-scientific-council-on-electromagnetic-fields\(21.10.2019\)](https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/7f20edcd0b024940bca450d596568e30/201319-eighth-report-from-ssms-scientific-council-on-electromagnetic-fields(21.10.2019))
- SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields (2014): Recent Research on EMF and Health Risk. Ninth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2014. [https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/08b2f497b3ad48cf9e29a1d0008e7d82/201416-recent-research-on-emf-and-health-risk-ninth-report-from-ssms-scientific-council-on-electromagnetic-fields-2014\(21.10.2019\)](https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/08b2f497b3ad48cf9e29a1d0008e7d82/201416-recent-research-on-emf-and-health-risk-ninth-report-from-ssms-scientific-council-on-electromagnetic-fields-2014(21.10.2019))
- SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields (2015): Recent Research on EMF and Health Risks. Tenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2015. [https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/ee7b28e0fee04e80bcdf84c24663a004/201519-recent-research-on-emf-and-health-risk---tenth-report-from-ssms-scientific-council-on-electromagnetic-fields-2015\(21.10.2019\)](https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/ee7b28e0fee04e80bcdf84c24663a004/201519-recent-research-on-emf-and-health-risk---tenth-report-from-ssms-scientific-council-on-electromagnetic-fields-2015(21.10.2019))
- SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields (2016): Recent Research on EMF and Health Risk. Eleventh report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Field, 2016. [https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/98d67d9e3301450da4b8d2e0f6107313/201615-recent-research-on-emf-and-health-risk-eleventh-report-from-ssms-scientific-council-on-electromagnetic-fields-2016\(21.10.2019\)](https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/98d67d9e3301450da4b8d2e0f6107313/201615-recent-research-on-emf-and-health-risk-eleventh-report-from-ssms-scientific-council-on-electromagnetic-fields-2016(21.10.2019))
- SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields (2018): Recent Research on EMF and Health Risk. Twelfth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2017. [https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/f34de8333acd4ac2b22a9b072d9b33f9/201809-recent-research-on-emf-and-health-risk\(21.10.2019\)](https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/f34de8333acd4ac2b22a9b072d9b33f9/201809-recent-research-on-emf-and-health-risk(21.10.2019))
- Statista (2019): Mobiltelefone. [https://de.statista.com/download/MTU2NzA2NzYyOSMjNTM1MTQ1IyM2MjQyIyMxIyNwZGYjI1N0dWR5\(29.8.2019\)](https://de.statista.com/download/MTU2NzA2NzYyOSMjNTM1MTQ1IyM2MjQyIyMxIyNwZGYjI1N0dWR5(29.8.2019))



- Stewart, W. (2000): Mobile Phones and Health (The Stewart Report). Independent Expert Group On Mobile Phones (IEGMP). <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100910162959/http://www.iegmp.org.uk/report/text.htm> (15.8.2019)
- Stiftung Warentest (2009): Heiß, die kalte Platte. Kochfelder. In: test 09/2009, S. 56–62
- Stiftung Warentest (2015): Die Nachtwache. Babyfone aller Art. In: test 05/2015, S. 52–59
- Stocker, Yolanda (2015): Akkus mit Induktion kabellos laden. Luzerner Stiftung für Umweltinformation (Hg.). [umweltnetz-schweiz.ch. https://www.umweltnetz-schweiz.ch/themen/energie/2035-akkus-mit-induktion-kabellos-laden.html](https://www.umweltnetz-schweiz.ch/themen/energie/2035-akkus-mit-induktion-kabellos-laden.html) (13.12.2017)
- Sudan, M.; Birks, L.; Aurrekoetxea, J.; Ferrero, A.; Gallastegi, M.; Guxens, M. et al. (2018): Maternal cell phone use during pregnancy and child cognition at age 5 years in 3 birth cohorts. In: *Environment international* 120, S. 155–162
- Sudan, M.; Kheifets, L.; Arah, O.; Olsen, J.; Zeltzer, L. (2012): Prenatal and Postnatal Cell Phone Exposures and Headaches in Children. In: *The open pediatric medicine journal* 6(2012), S. 46–52
- Sudan, M.; Kheifets, L.; Arah, O.; Olsen, J. (2013): Cell phone exposures and hearing loss in children in the Danish National Birth Cohort. In: *Paediatric and perinatal epidemiology* 27(3), S. 247–257
- Sudan, M.; Olsen, J.; Arah, O.; Obel, C.; Kheifets, L. (2016): Prospective cohort analysis of cellphone use and emotional and behavioural difficulties in children. In: *J Epidemiol Community Health* 70(12), S. 1207–1213
- Technopolis (2015): Programme Evaluation Electromagnetic Fields & Health (EMF&H). ZonMw Programme Evaluation. (de Jongh, T.; Nooijen, A.; van Barneveld, J.; Zuijdam, F.) https://www.zonmw.nl/fileadmin/documenten/Elektromagnetische_Velden_en_Gezondheid/Evaluation_report_EMF_H_by_Technopolis_2015.pdf (25.11.2019)
- Thomas, S.; Benke, G.; Dimitriadis, C.; Inyang, I.; Sim, M.; Wolfe, R. et al. (2010a): Use of mobile phones and changes in cognitive function in adolescents. In: *Occupational and Environmental Medicine* 67(12), S. 861–866
- Thomas, S.; Heinrich, S.; von Kries, R.; Radon, K. (2010b): Exposure to radiofrequency electromagnetic fields and behavioural problems in Bavarian children and adolescents. In: *European journal of epidemiology* 25(2), S. 135–141
- Tillmann, T.; Ernst, H.; Streckert, J.; Zhou, Y.; Taugner, F.; Hansen, V.; Dasenbrock, C. (2010): Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model. In: *International journal of radiation biology* 86(7), S. 529–541
- Toledano, M.; Mutz, J.; Röösli, M.; Thomas, M.; Dumontheil, I.; Elliott, P. (2019): Cohort Profile: The Study of Cognition, Adolescents and Mobile Phones (SCAMP). In: *International journal of epidemiology* 48(1), S. 25–261
- Turner, M.; Gracia-Lavedan, E.; Momoli, F.; Langer, C.; Castaño-Vinyals, G.; Kundi, M. et al. (2019): Nonparticipation Selection Bias in the MOBI-Kids Study. In: *Epidemiology* 30(1), S. 145–153
- U.S. Food and Drug Administration (01.11.2018): Statement from Jeffrey Shuren, M.D., J.D., Director of the FDA’s Center for Devices and Radiological Health on the National Toxicology Program’s report on radiofrequency energy exposure. <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/statement-jeffrey-shuren-md-jd-director-fdas-center-devices-and-radiological-health-national> (6.1.2020)

- Ulmer, S.; Bruse, M. (2006): Ergänzende Informationen über Elektrosensible. Demographie, Psychographie, Kommunikationsempfehlungen. Katalyse Institut für angewandte Umweltforschung, http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_abges/risiko_025_AB.pdf (29.10.2019)
- Van Rongen, E. (2004): Eric van Rongen comments. In: *Bioelectromagnetics* 25(5), S. 323
- Vezzini, A. (2014): Batterie- und Ladetechnik – Heute und 2020. Berner Fachhochschule – Institut für Energie- und Mobilitätsforschung, <https://www.voev.ch/fr/index.php?section=downloads&download=6796> (11.1.2018)
- Vigeh, M.; Yokoyama, K.; Matsukawa, T.; Shinohara, A.; Ohtani, K. (2014): Low level prenatal blood lead adversely affects early childhood mental development. In: *Journal of child neurology* 29(10), S. 1305–1311
- Vijayalaxmi; P., Thomas J. (2012): Genetic damage in human cells exposed to non-ionizing radiofrequency fields: a meta-analysis of the data from 88 publications (1990–2011). In: *Mutation research* 749(1-2), S. 1–16
- Vijayalaxmi; P., Thomas J. (2019): Comprehensive Review of Quality of Publications and Meta-analysis of Genetic Damage in Mammalian Cells Exposed to Non-Ionizing Radiofrequency Fields. In: *Radiation Research* 191(1), S. 20–30
- Vrijheid, M.; Martinez, D.; Forn, J.; Guxens, M.; Julvez, J.; Ferrer, M.; Sunyer, J. (2010): Prenatal exposure to cell phone use and neuro-development at 14 months. In: *Epidemiology* 21(2), S. 259–262
- Weißenberg, P. (2017): Immer mit grünem Balken unterwegs. Elektroautos. In: *Zeit online*, 26.7.2017. <https://www.zeit.de/mobilitaet/2017-07/elektroautos-ualcomm-induktives-laden-batterie-kabel> (4.9.2019)
- WHO (2003): Healthy Environments for Children: WHO Backgrounder N°3, April 2003. World Health Organization. <https://www.who.int/world-health-day/previous/2003/press/backgrounder/en/> (15.8.2019)
- WHO (2006a): Framework for developing health-based electromagnetic field standards. [https://www.who.int/peh-emf/standards/EMF_standards_framework\[1\].pdf?ua=1](https://www.who.int/peh-emf/standards/EMF_standards_framework[1].pdf?ua=1) (16.9.2019)
- WHO (2006b): WHO Research Agenda for Radio Frequency Fields. https://www.who.int/peh-emf/research/rf_research_agenda_2006.pdf (15.8.2019)
- WHO (2010): WHO research agenda for radiofrequency fields. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44396/1/9789241599948_eng.pdf (27.3.2017)
- WHO (2014): Elektromagnetische Felder und öffentliche Gesundheit: Mobiltelefone. Übersetzung Fact Sheet N° 193 der WHO »Electromagnetic fields and public health: mobile phones«. https://www.who.int/peh-emf/publications/facts/FS193_German_Aug2015.pdf?ua=1 (16.1.2020)
- WHO (2019): EMF research databases: Germany's EMF-Portal. <http://www.who.int/peh-emf/research/database/en/> (15.8.2019)
- Wi-Fi Alliance (2018): Generational Wi-Fi® User Guide. https://www.wi-fi.org/download.php?file=/sites/default/files/private/Generational_Wi-Fi_User_Guide_20181003.pdf (27.8.2019)
- Wilkens, A. (2018): Induktives Laden: Mannheim will keine weiteren Primove-Elektrobusse. Seit drei Jahren sind in Mannheim zwei Elektrobusse unterwegs, die induktiv geladen werden. Das Projekt wird nicht ausgebaut. heise online. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Induktives-Laden-Mannheim-will-keine-weiteren-Primove-Elektrobusse-4060084.html> (3.9.2019)

- Witricity (2016): DRIVE 11 Evaluation System. Wireless charging for EV & PHEV Platforms. Watertown, MA. http://witricity.com/wp-content/uploads/2018/02/DRIVE_11_20170221-1.pdf (4.9.2019)
- Witricity (2019): WiTricity Acquires Qualcomm Halo. <https://witricity.com/witricity-acquires-qualcomm-halo/> (15.10.2020)
- Würth; infineon (2019): 200 W Development Kit. Wireless Power Transfer Extended Medium Power Solution. www.wi-online.com/wirelesspower/200WKit (3.9.2019)
- Zahner, M.; Fröhlich, J.; Dürrenberger, G. (2017): Energieeffizienz und EMF-Immissionen von integrierten Induktionsladestationen. Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation. Zürich. https://www.emf.ethz.ch/fileadmin/redaktion/public/downloads/3_angebot/wissensvermittlung/studien_fachartikel/Wireless_Charging.pdf (13.11.2017)
- Zheng, F.; Gao, P.; He, M.; Li, M.; Tan, J.; Chen, D. et al. (2015): Association between mobile phone use and self-reported well-being in children: a questionnaire-based cross-sectional study in Chongqing, China. In: BMJ Open 5(5), e007302

8.4 Abbildungen

Abb. 2.1	Beispielbild eines Mobiltelefons	30
Abb. 2.2	Beispielbild eines DECT-Produktes (Schnurlostelefon)	32
Abb. 2.3	Beispiel eines WLAN-Routers	34
Abb. 2.4	Beispielbild einer Bluetoothastatur, Maus und USB-Adapter	36
Abb. 2.5	Beispielbild für ein Babyphon	37
Abb. 2.6	Beispielbild eines Smarthomegebäudes mit vernetzten Geräten	39
Abb. 2.7	Beispielbild eines Mikrowellenherdes	41
Abb. 2.8	Beispielbild eines einzelstehenden Induktionskochfeldes	42
Abb. 2.9	Beispielbild für eine induktive Ladestation	44
Abb. 2.10	Beispielbild für E-Bus auf der Induktionsladestation	47
Abb. 2.11	Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »Wohnbereich«	73
Abb. 2.12	Prozentuale Grenzwertausschöpfung durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »Wohnbereich«	74
Abb. 2.13	Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »Wohnbereich – Worst Case«	75
Abb. 2.14	Prozentuale Grenzwertausschöpfung durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »Wohnbereich – Worst Case«	76
Abb. 2.15	Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich«	78
Abb. 2.16	Prozentuale Grenzwertausschöpfungen durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich«	79
Abb. 2.17	Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich – Worst Case«	80

Abb. 2.18	Prozentuale Grenzwertausschöpfungen durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich – Worst Case«	81
Abb. 2.19	Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich«	83
Abb. 2.20	Prozentuale Grenzwertausschöpfungen durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich«	84
Abb. 2.21	Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich – Worst Case«	85
Abb. 2.22	Prozentuale Grenzwertausschöpfungen durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich – Worst Case«	86
Abb. 2.23	Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk«	87
Abb. 2.24	Prozentuale Grenzwertausschöpfungen durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk«	89
Abb. 2.25	Schematische Darstellung der Quellen und ihrer Anordnung im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk – Worst Case«	90
Abb. 2.26	Prozentuale Grenzwertausschöpfungen durch die verschiedenen Quellen im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk – Worst Case«	91
Abb. 3.1	Vergleich der Referenzwerte der ICNIRP-Empfehlungen von 1998 und 2010	104
Abb. 3.2	ICNIRP-Richtlinien im Vergleich	106
Abb. 4.1	Wissenschaftlich evidenzbasierte Bewertung	120
Abb. 4.2	Andere Bewertungsmaßstäbe	121
Abb. 5.1	Biasrisikobewertung für experimentelle Studien (n = 12)	168
Abb. 5.2	Biasrisikobewertung für epidemiologische Studien zu Kindern und Jugendlichen (n = 36)	171
Abb. 5.3	Biasrisikobewertung für die epidemiologische Studie zu älteren Menschen (n = 1)	186
Abb. 6.1	Anwendungsgruppen für 5G	211
Abb. 8.1	Einordnung der Studien in die Qualitätskategorien hoch, moderat und gering am Beispiel der analysierten experimentellen Studien	405



8.5 Tabellen

Tab. 2.1	Technische Daten: Mobiltelefon	31
Tab. 2.2	Technische Daten: DECT	33
Tab. 2.3	Technische Daten: WLAN	35
Tab. 2.4	Technische Daten: Bluetooth	36
Tab. 2.5	Technische Daten: Babyphon	38
Tab. 2.6	Technische Daten: Smarthomegeräte	40
Tab. 2.7	Technische Daten: Mikrowellenherd	42
Tab. 2.8	Technische Daten: Induktionsherd	43
Tab. 2.9	Technische Daten: induktives Laden Elektrokleingeräte	45
Tab. 2.10	Technische Daten: induktives Laden E-Fahrzeuge	47
Tab. 2.11	Ausschöpfungen des Grenzwerts der Leistungsflussdichte in fünf untersuchten häuslichen Situationen	54
Tab. 2.12	Praxisnahe SAR-Werte von Mobiltelefonen	57
Tab. 2.13	Ermittelte SAR-Werte in verschiedenen Nutzungsszenarien	61
Tab. 2.14	Flussdichten und elektrische Feldstärken bei Lampen und weiteren Geräten	69
Tab. 2.15	Magnetische Flussdichten, elektrische Feldstärken und Leistungsflussdichten im Expositionsszenario »Wohnbereich«	73
Tab. 2.16	Leistungsflussdichten und SAR-Werte im Expositionsszenario »Wohnbereich – Worst Case«	75
Tab. 2.17	Leistungsflussdichten und SAR-Werte im Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich«	78
Tab. 2.18	Leistungsflussdichten und SAR-Werte im Expositionsszenario »häuslicher Arbeitsbereich – Worst Case«	80
Tab. 2.19	Magnetische Flussdichten, Leistungsflussdichten und SAR-Werte im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich«	83
Tab. 2.20	Leistungsflussdichten und SAR-Werte im Expositionsszenario »häuslicher Küchenbereich – Worst Case«	85
Tab. 2.21	Leistungsflussdichten und SAR im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk«	88
Tab. 2.22	Leistungsflussdichten und SAR-Werte im Expositionsszenario »öffentlicher Raum mit Datenübertragung und Mobilfunk – Worst Case«	90
Tab. 2.23	Abschätzung von Mindest- und Vorsorgeabständen für einzelne HF-Quellen	95
Tab. 3.1	Basisgrenzwerte für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder	101
Tab. 3.2	Referenzwerte (ungestörte Mittelwerte) für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder	102
Tab. 3.3	Basisgrenzwerte für elektrische und magnetische Wechselfelder	103

Tab. 3.4	Referenzwerte (ungestörte Mittelwerte) für elektrische und magnetische Wechselfelder	103
Tab. 3.5	Faktoren und Bezugswerte zur Bestimmung der Grenzwerte für gepulste Felder	108
Tab. 4.1	Bewertungskategorien für die Risikoabschätzung	115
Tab. 4.2	Wirkung auf die Gesundheit des Menschen	117
Tab. 4.3	Darstellungsbeispiel für die Studienergebnisse	128
Tab. 4.4	Wissensstand des DMF (Hauptprogramm)	140
Tab. 4.5	Resultate der DMF-Nachfolgeaktivitäten	144
Tab. 4.6	Ergebnisse aus internationalen Forschungsprojekten	148
Tab. 6.1	Wissensstand und Forschungsbedarf	195
Tab. 8.1	Einschätzung von Reviewberichten	249
Tab. 8.2	Resultate des PNR EST	257
Tab. 8.3	Resultate des EMF&H-Programms	266
Tab. 8.4	Resultate der Schweizer Programme	277
Tab. 8.5	Resultate der EU-Projekte	288
Tab. 8.6	Internationale Resultate	304
Tab. 8.7	Epidemiologische Studien zum Verhalten von Kindern und Jugendlichen	392
Tab. 8.8	Epidemiologische Studien zur Entwicklung von Kleinkindern	402

8.6 Abkürzungen

2G/3G	Mobilfunkstandard der 2. bzw. 3. Generation
ABCD	Amsterdam Born Children and their Development Study
ADHD	Attention Deficit Hyperactivity Disorder
ADHS	Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
CBCL	Child Behavior Checklist
CDMA	Code Division Multiple Access
CEFALO	Case-Control Study of Brain Tumors in Children and Adolescents and Mobile Phone Use
CHEER	Children's Health and Environment Research
COSMOS	Cohort Study of Mobile Phone Use and Health
CSHQ	Child Sleep Habits Questionnaire
CW	kontinuierliche Welle
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DNBC	Danish National Birth Cohort
DPOAE	Distorsiv Produzierte OtoAkustische Emissionen
EEG	Elektroenzephalografie/Elektroenzephalogramm



EKG	Elektrokardiografie
EMF	elektromagnetische Felder
ExPOSURE	Examination of Psychological Outcomes in Students Using Radiofrequency dEVICES
FÖD	Föderaler Öffentlicher Dienst Volksgesundheit, Sicherheit der Nahrungsmittelkette und Umwelt
GERoNiMO	Generalized EMF Research using Novel MethOds
GSM	Global System for Mobile Communications
HBSC	Health Behaviour in School-aged Children
HERMES	Health Effects Related to Mobile phonE use in adolescentS
HF	Hochfrequenz
HIT-6	Headache Impact Test
IARC	International Agency for Research on Cancer
ICHD-II	International Classification of Headache Disorders
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT	International Mobile Telecommunications
INMA	INfancia y Medio Ambiente (Environment and Childhood)
IQR	Interquartilbereich
IRR	Inzidenzrate
ISM-Band	Industrial, Scientific and Medical Band
JGG	Jugendgerichtsgesetz
K-ARS	koreanische Version des ADHD rating scale
KBV	Kassenärztliche Bundesvereinigung
KI _{95%}	95 %-Konfidenzintervall
mJ	Millijoule
MeSH	Medical Subject Headings
MoBa	The Norwegian Mother and Child Cohort Study
MobilEe	Mobilfunk: Exposition und Befinden
MOCEH	Korean Mothers and Children's Environmental Health Study
MoRPhEUS	Mobile Radiofrequency Phone Exposed Users' Study
MSCA	McCarthy Scales of Children's Abilities
MW	Mikrowelle
NCBI	National Center for Biotechnology Information
NTP	National Toxicology Program
OHAT	Office of Health Assessment and Translation
OR	Odds Ratio
PCS	Personal Communications System
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
psSAR	peak spatial SAR



RFR	Hochfrequenzstrahlung
SAR	Spezifische Absorptionsrate
SCENIHR	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks
SDQ-Fragebogen	Strengths and Difficulties Questionnaire
SMS	Short Message Service
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WHO	World Health Organization
WLAN	Wireless Local Area Network
WPPSI-R	Welchsler Preschool and Primary Scale of Intelligence – Revised
ZNS	Zentralnervensystem



**BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG**

Karlsruher Institut für Technologie

Neue Schönhauser Straße 10
10178 Berlin

Telefon: +49 30 28491-0
E-Mail: buero@tab-beim-bundestag.de
Web: www.tab-beim-bundestag.de
Twitter: @TABundestag