



---

# Gesundheitliche Auswirkungen von 5G

---

## STUDIE

Lenkungsgruppe zur Zukunft von Wissenschaft und Technologie

---

EPRS | Wissenschaftlicher Dienst des Europäischen Parlaments

Referat Wissenschaftliche Vorausschau (STOA)

PE 690.012 – Juni 2021

DE



# Gesundheitliche Auswirkungen von 5G

---

Aktueller Kenntnisstand zu 5G-bedingten karzinogenen  
Gefahren und Gefahren für die  
Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung, die aus  
epidemiologischen Studien und experimentellen In-vivo-  
Studien hervorgehen

## AUTORIN

Diese Studie wurde von Dr. Fiorella Belpoggi, BSc, PhD, International Academy of Toxicologic Pathology Fellow (IATPF), Ramazzini Institute, Bologna (Italien), im Auftrag der Lenkungsgruppe zur Zukunft von Wissenschaft und Technologie (STOA) verfasst und vom Referat Wissenschaftliche Vorausschau innerhalb der Generaldirektion Wissenschaftlicher Dienst (EPRS) des Sekretariats des Europäischen Parlaments verwaltet.

Die Recherche für die Ermittlung des Untersuchungsrahmens (Scoping Review) wurde von Dr. Daria Sgargi, PhD, Master in Biostatistik, und Dr. Andrea Vornoli, PhD in Krebsforschung, Ramazzini-Institut, Bologna, durchgeführt.

## Danksagungen

Die Autorin dankt Dr. Daniele Mandrioli, MD, PhD, Ramazzini-Institut, Bologna (Italien), der beratend tätig war und die Methodik überprüft hat; Prof. Dr. Carlo Foresta und Prof. Dr. Andrea Garolla, Professoren für Endokrinologie und Andrologie an der Universität Padua (Italien), die die Ergebnisse zu den schädlichen Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit beim Menschen kritisch geprüft haben; Prof. Fausto Bersani, Physiker, Berater, Rimini (Italien), der sie bei der Interpretation von Papieren zum Expositionsszenarium unterstützt hat.

## VERANTWORTLICHER BEAMTER

Gianluca Quaglio, Referat Wissenschaftliche Vorausschau (STOA)

Um Kontakt mit dem Herausgeber aufzunehmen, schicken Sie eine E-Mail an [stoa@ep.europa.eu](mailto:stoa@ep.europa.eu)

## SPRACHFASSUNG

Original: EN

Redaktionsschluss: Juli 2021.

## HAFTUNGSAUSSCHLUSS UND URHEBERRECHTSSCHUTZ

Dieses Dokument wurde für die Mitglieder und Mitarbeiter des Europäischen Parlaments erarbeitet und soll ihnen als Hintergrundmaterial für ihre parlamentarische Arbeit dienen. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Dokuments liegt ausschließlich bei dessen Autorin. Die darin vertretenen Auffassungen entsprechen nicht unbedingt dem offiziellen Standpunkt des Europäischen Parlaments.

Nachdruck und Übersetzung – außer zu kommerziellen Zwecken – mit Quellenangabe sind gestattet, sofern das Europäische Parlament vorab unterrichtet und ihm ein Exemplar übermittelt wird.

Brüssel, © Europäische Union, 2023.

PE 690.012

ISBN: 978-92-848-0795-6

Bezeichner für digitale Objekte (DOI): 10.2861/144971

QA-09-21-134-DE-N

<http://www.europarl.europa.eu/stoa> (STOA-Website)

<http://www.eprs.ep.parl.union.eu> (Intranet)

<http://www.europarl.europa.eu/thinktank> (Internet)

Die bevorstehende Einführung von 5G-Mobilfunknetzen wird deutlich schnellere mobile Breitbandgeschwindigkeiten und eine immer umfangreichere mobile Datennutzung ermöglichen. Zu den technischen Neuerungen gehören ein anderes Übertragungssystem (MIMO: Nutzung mehrerer Sende- und mehrerer Empfangsantennen), direktionales Senden oder Empfangen von Signalen („Beamforming“) und die Nutzung anderer Frequenzbereiche. Gleichzeitig wird erwartet, dass sich das Ausmaß, in dem Mensch und Umwelt elektromagnetischen Feldern (EMF) ausgesetzt sind, ändern wird. Zusätzlich zu den bisher verwendeten haben die auf EU-Ebene identifizierten 5G-Pionier-Frequenzbänder Frequenzen von 700 MHz, 3,6 GHz (3,4 bis 3,8 GHz) und 26 GHz (24,25 bis 27,5 GHz). Die ersten beiden Frequenzen (FR1) ähneln denen, die für 2G- bis 4G-Technologien verwendet werden, und wurden in epidemiologischen und experimentellen Studien auf verschiedene Endpunkte hin untersucht (einschließlich Karzinogenität und Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung), während 26 GHz (FR2) und höhere Frequenzen nicht ausreichend auf dieselben Endpunkte hin untersucht wurden.

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) stufte hochfrequente (HF-)EMF als „möglicherweise krebserregend für den Menschen“ (Gruppe 2B) ein und empfahl kürzlich eine Neubewertung der HF-Exposition „mit hoher Priorität“ (IARC, 2019). Seit 2011 wurde eine Vielzahl von Studien durchgeführt, sowohl epidemiologische als auch experimentelle. Die vorliegende Überprüfung (Review) befasst sich mit den aktuellen Erkenntnissen über die karzinogenen und auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bezogenen Gefahren der von 5G genutzten Hochfrequenzenergie. Es gibt verschiedene experimentelle und epidemiologische *In-vivo*-Studien zu HF bei einem niedrigeren Frequenzbereich (450 bis 6 000 MHz), was auch die in Breitband-Mobilfunknetzen früherer Generationen genutzten Frequenzen einschließt, aber sehr wenige (und unzureichende) Studien zum höheren Frequenzbereich (24 bis 100 GHz, Zentimeter-/Millimeterwellen).

Die Überprüfung hat Folgendes ergeben: 1) Niedrigere 5G-Frequenzen (700 und 3 600 MHz): a) begrenzte Evidenz für Karzinogenität in epidemiologischen Studien; b) ausreichende Evidenz für Karzinogenität in experimentellen Bioassays; c) ausreichende Evidenz für schädliche Wirkungen auf Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen; d) ausreichende Evidenz für schädliche Wirkungen auf Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren; 2) Höhere 5G-Frequenzen (24,25–27,5 GHz): Bei der systematischen Überprüfung wurden weder für den Menschen noch für Versuchstiere ausreichende Studien ermittelt.

Schlussfolgerungen: 1) Krebs: FR1 (450 bis 6 000 MHz): EMF sind für den Menschen wahrscheinlich karzinogen, insbesondere in Bezug auf Gliome und Akustikusneurinome; FR2 (24 bis 100 GHz): Zu den höheren Frequenzen wurden keine ausreichenden Studien durchgeführt; 2) Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit und die Entwicklung: FR1 (450 bis 6 000 MHz): diese Frequenzen haben eindeutig Auswirkungen auf die männliche und unter Umständen auch auf die weibliche Fertilität. Sie können potenzielle schädliche Wirkungen auf die Entwicklung von Embryos, Feten und Neugeborenen haben; FR2 (24 bis 100 GHz): Zu den nichtthermischen Effekten der höheren Frequenzen wurden keine ausreichenden Studien durchgeführt.

# Zusammenfassung

## 1. Hintergrund

In den letzten Jahrzehnten hat sich eine beispiellose Entwicklung von Technologien vollzogen, die als Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) bekannt sind. Dazu gehören die drahtlose Kommunikation, die für Mobiltelefone genutzt wird, und beispielsweise WLAN, das elektromagnetische Felder (EMF) im Hochfrequenzbereich (HF) nutzt.

Die erste Generation von tragbaren Mobiltelefonen war in den späten 1980er Jahren erhältlich. Danach breiteten sich die zweite (2G), dritte (3G) und vierte (4G, „Long-Term Evolution“ = LTE) Generation in der Gesellschaft rasant aus, sodass es in Europa heute mehr Geräte als Einwohner gibt. Darüber hinaus sind WLAN und andere Formen der drahtlosen Datenübertragung inzwischen allgegenwärtig und weltweit verfügbar. Nichtsdestotrotz gibt es neue Ungleichheiten beim Zugang zum Hochgeschwindigkeitsinternet (selbst in Ländern mit hohem Einkommen), und die Kontrolle durch autoritäre Regime birgt Risiken für die Demokratie und die europäischen Werte.

Die Einführung der Hochfrequenztechnologie der nächsten Generation, 5G, in die Mobilfunknetze hat nun begonnen. Bei 5G handelt es sich nicht um eine völlig neue Technologie, sondern um eine Weiterentwicklung der bereits bestehenden Technologien der 1. bis 4. Generation. 5G-Netze werden in mehreren verschiedenen Frequenzbändern arbeiten, wobei der Vorschlag lautet, die niedrigeren Frequenzen dieser Technologie für die erste Phase der 5G-Netze zu nutzen. Mehrere dieser Frequenzen wurden oder werden bereits für frühere Generationen der mobilen Kommunikation genutzt. Zusätzlich ist geplant, in späteren Phasen der Entwicklung der 5G-Technologie wesentlich höhere Funkfrequenzen zu verwenden. Die neuen Bänder liegen deutlich über dem Ultrahochfrequenzbereich (UHF) und haben Wellenlängen im Zentimeterbereich (3–30 GHz) oder im Millimeterbereich (MMW) bei 30–300 GHz. Die letztgenannten Frequenzbänder werden traditionell für Radar- und Mikrowellenverbindungen genutzt, und nur sehr wenige wurden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit untersucht.

## 2. Methodik

Diese Überprüfung der derzeit verfügbaren wissenschaftlichen Evidenz konzentriert sich sowohl auf die karzinogenen Wirkungen als auch auf die Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung durch Hochfrequenzenergie von mobilen Telekommunikationssystemen, die 2G-5G-Netze nutzen, und stützt sich dabei sowohl auf In-vivo-Tierstudien als auch auf epidemiologische Studien am Menschen. Die ausgewerteten Studien müssen in zwei Gruppen unterteilt werden:

1) Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF im niedrigeren Frequenzbereich (FR) (FR1: 450 bis 6 000 MHz) untersuchen, was auch die Frequenzen einschließt, die in den vorhandenen 2. bis 4. Generationen des Breitband-Mobilfunknetzes genutzt werden. Die aktuelle Evidenz aus den Studien zu 2G bis 4G ist die derzeit beste verfügbar Evidenz. Die Studien wurden mithilfe *narrativer* Methoden ausgewertet;

2) Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF im höheren FR (FR2: 24 bis 100 GHz – MMW) untersuchen. Die höheren Frequenzen sind neu, wurden bisher nicht für die mobile Kommunikation verwendet und sind spezifisch für die neue 5G-Technologie, die besondere physikalische Eigenschaften und Wechselwirkungen mit biologischer Materie aufweist (geringere Durchdringung, höhere Energie usw.): Sie wurden separat betrachtet, wobei eine Methode zur Ermittlung des Untersuchungsrahmens (Scoping Review) angewendet wurde.

Das narrative Review (FR1) wird vom Scoping Review (FR2) unterschieden, aber die für Scoping Reviews angegebenen Auswahl- und Bewertungskriterien wurden für beide Recherchen sowie für

den Ein-/Ausschluss von Studien zu den auf Krebs und Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bezogenen biologischen Endpunkten übernommen.

Bei der abschließenden Bewertung der Ergebnisse sowohl der epidemiologischen als auch der experimentellen Studie sowie der Ergebnisse in Bezug auf Krebs und Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung wurden die in der Präambel der IARC-Monografie (2019) angegebenen Parameter berücksichtigt, die auf die Anforderungen des vorliegenden Berichts zugeschnitten sind und für beide Endpunkte gelten (d. h. Auswirkungen bezüglich Krebs und bezüglich Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung):

*Ausreichende Evidenz:* Ein kausaler Zusammenhang zwischen Exposition gegenüber HF-EMF und den konkreten schädlichen Wirkungen wurde ermittelt. Das heißt, in der Evidenz wurde ein positiver Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber dem Agens und der spezifischen unerwünschten Wirkung in Studien beobachtet, wobei Zufall, Verzerrungen und Störfaktoren mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen wurden.

*Begrenzte Evidenz:* Eine in der Evidenz beobachtete kausale Interpretation des positiven Zusammenhangs zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und der spezifischen schädlichen Wirkung ist plausibel, aber Zufall, Verzerrung oder Störfaktoren können nicht mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden.

*Keine Evidenz:* Es liegen keine Daten oder Evidenz vor, was darauf hinweist, dass keine schädlichen Wirkungen vorhanden sind (zu konkretisieren).

Die Gesamtauswertung im Hinblick auf die Wirkungen sowohl hinsichtlich Krebs als auch Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung wurde erhalten, indem die Evidenz zu Menschen/Tieren wie folgt integriert wurde:

Evidenz beim Menschen	Evidenz bei Versuchstieren	Evidenz basierend auf Beweiskraft
Ausreichend	Nicht notwendig	Eindeutiger Zusammenhang zwischen Exposition und schädlicher Wirkung
Begrenzt	Ausreichend	Wahrscheinlicher Zusammenhang zwischen Exposition und schädlicher Wirkung
Begrenzt	Weniger als ausreichend	Möglicher Zusammenhang zwischen Exposition und schädlicher Wirkung
Unzureichend	Unzureichend oder begrenzt	Nicht einstuftbar

### 3. Expositionsbewertung

Die Frage der Expositionsbewertung bei der Einführung von 5G gestaltet sich kompliziert, vor allem im Hinblick auf die Überwachung der kontinuierlichen Änderungen der Aktivität sowohl von Basisstationen (BS) als auch von Nutzergeräten (User Equipment, UE) im Zusammenhang mit der MIMO-Technologie (Multiple Input, Multiple Output [mehrere Sende- und mehrere Empfangsantennen]). Darüber hinaus wird der technische Ansatz für die Expositionsbewertung im

Zukunftsszenario in Bezug auf gleichzeitig stattfindende 1G-, 2G-, 3G-, 4G- und 5G-Aussendungen derzeit noch ausgearbeitet und ist daher unsicher.

#### **4. Nichtthermische Effekte**

Die schädlichen Auswirkungen nichtthermischer biologischer Wechselwirkungen von HF-EMF mit menschlichem und tierischem Gewebe wurden bei der Festlegung der ICNIRP 2020-Richtlinien (ICNIRP 2020a) nicht berücksichtigt, obwohl eine große Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen vorliegt, die die Schädlichkeit oder potenzielle Schädlichkeit dieser Wirkungen belegen. Es gibt in der Tat athermische biologische Reaktionen, und einige Frequenzen werden sogar in manchen medizinischen Fachgebieten zu therapeutischen Zwecken eingesetzt. Wie wir wissen, kann jedes Medikament, selbst das nützlichste, auch mit einigen Nebenwirkungen einhergehen. Daher müssen sowohl die thermischen als auch die nichtthermischen Effekte von HF-EMF bei der Risikobeurteilung berücksichtigt werden.

#### **5. Aktueller Stand der Forschung zu HF-EMF**

Die Einführung drahtloser Kommunikationsgeräte, die im Hochfrequenzbereich des elektromagnetischen Spektrums (450 bis 6 000 MHz, niedrigere Frequenzen) arbeiten, hat eine beträchtliche Anzahl von Studien ausgelöst, die sich mit Gesundheitsfragen befassen. Diese Studien umfassen Studien am Menschen (epidemiologische Studien), an Tieren (experimentelle Studien an Nagetieren) und an zellulären In-vitro-Systemen.

5G-Netze werden die Zahl der drahtlosen Geräte erhöhen, was eine viel größere Infrastruktur erfordert, um ein höheres mobiles Datenvolumen pro geografischer Fläche zu bewerkstelligen. Darüber hinaus muss die Netzdichte ausgebaut werden, da die für 5G erforderlichen höheren Frequenzen (24 bis 100 GHz, MMW) eine geringere Reichweite haben. Die zu diesen Frequenzen vorliegenden Studien sind zahlenmäßig begrenzt und von gemischter Qualität.

Dies wirft die Frage auf, ob diese höheren Frequenzen andere Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt haben als niedrigere Frequenzen. Weltweit wurden auf verschiedenen Ebenen Beurteilungen der HF-Sicherheit durchgeführt und wissenschaftliche und politstrategische Papiere veröffentlicht.

In Bezug auf Krebs definierte die Analyse des IARC aus dem Jahr 2011 der bis 2011 gesichteten Literatur (Baan, 2011), die 2013 veröffentlicht wurde und durchgehend als IARC (2013) zitiert wird, HF-EMF im Frequenzbereich von 30 kHz bis 300 GHz als „möglicherweise krebserregend“ für den Menschen, basierend auf „begrenzter Evidenz für Karzinogenität“ beim Menschen und bei Versuchstieren. Die im Jahr 2011 vorliegenden Studien untersuchten HF in dem Bereich, den wir hier als FR1 bezeichnen, also von 450 bis 6 000 MHz. Die FR2-Frequenzen (24 bis 100 GHz) liegen im MMW-Bereich.

In der IARC-Analyse aus dem Jahr 2011 wurden HF-EMF untersucht. Wenngleich keine Studien zu 5G durchgeführt wurden, waren doch einige Studien zur Exposition gegenüber Hochfrequenz-Radarstrahlung und Mikrowellen am Arbeitsplatz eingeschlossen.

Die neuen MMW-Frequenzen (FR2: 24 bis 100 GHz) werden zu den niedrigeren Frequenzen hinzugezählt, die bereits genutzt werden, darunter zum Teil durch 5G. Daraus folgt, dass es für 5G im Bereich 450 bis 6 000 MHz (FR1) zahlreiche Studien gibt, von denen viele in der IARC-Monographie in Bezug auf Krebs gesammelt wurden, während es für 26 GHz und andere MMW-Frequenzen im Allgemeinen nur wenig Literatur gibt, die sich mit den möglichen schädlichen Wirkungen auf die Gesundheit befasst. Dies liegt einfach darin begründet, dass diese Frequenzen bisher niemals zur Massenkommunikation verwendet wurden und es daher nur wenige geeignete Populationen gab, die diesen zu untersuchenden Frequenzen ausgesetzt waren; gleichermaßen gibt es nur sehr wenige ausreichende Studien zu nichtthermischen Effekten auf Labortiere.



## 6. Ergebnisse der vorliegenden Überprüfung

Unter Verwendung von PubMed und der EMF-Portal-Datenbank und unter Anwendung der Scoping-Review-Methode auf unsere Forschung fanden wir 950 Papiere über die Karzinogenität von HF-EMF beim Menschen und 911 Papiere über tierexperimentelle Studien an Nagern, also insgesamt 1 861 Studien. Hinsichtlich Studien zur Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung fanden wir 2 834 Papiere zur Epidemiologie und 5 052 tierexperimentelle Studien an Nagern, also insgesamt 7 886 Studien. Basierend auf der vorliegenden Überprüfung der Literatur und den vorstehend ausgeführten Abwägungen gelangen wir zu den folgenden Schlussfolgerungen:

### 6.1 Krebs beim Menschen

FR1 (450 bis 6 000 MHz): Es liegt begrenzte Evidenz für die Karzinogenität von HF-Strahlung beim Menschen vor. Bei der Aktualisierung der Ergebnisse der Gesamtbewertung von 2011 bis 2020 wurde erneut ein positiver Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung von Funktelefonen und sowohl Gliomen (Hirntumoren) als auch Akustikusneurinomen festgestellt, aber die Evidenz beim Menschen ist immer noch begrenzt.

FR2 (24 bis 100 GHz): Zu den Wirkungen der höheren Frequenzen wurden keine ausreichenden Studien durchgeführt.

### 6.2 Krebs bei Versuchstieren

FR1 (450 bis 6 000 MHz): Es liegt ausreichende Evidenz für die Karzinogenität von HF-Strahlung bei Versuchstieren vor. Neue Studien im Anschluss an die IARC-Bewertung von 2011 zeigten einen positiven Zusammenhang zwischen HF-EMF und Tumoren des Gehirns und der Schwann-Zellen des peripheren Nervensystems, der gleichen Art von Tumoren, die auch in epidemiologischen Studien beobachtet wurden.

FR2 (24 bis 100 GHz): Zu den höheren Frequenzen wurden keine ausreichenden Studien durchgeführt.

### 6.3 Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen

FR1 (450 bis 6 000 MHz): Es liegt ausreichende Evidenz für schädliche Wirkungen auf die Fertilität von Männern vor. Es liegt begrenzte Evidenz für schädliche Wirkungen auf die Fertilität von Frauen vor. Es liegt begrenzte Evidenz für die entwicklungsbezogenen Auswirkungen auf Nachkommen von Frauen vor, die während der Schwangerschaft intensiv Mobiltelefone genutzt haben.

FR2 (24 bis 100 GHz): Zu den höheren Frequenzen wurden keine ausreichenden Studien durchgeführt.

### 6.4 Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren

FR1 (450 MHz bis 6 000 MHz): Es liegt ausreichende Evidenz für schädliche Wirkungen auf die Fertilität männlicher Ratten und Mäuse vor. Es liegt begrenzte Evidenz für schädliche Wirkungen auf die Fertilität weiblicher Mäuse vor. Es liegt begrenzte Evidenz für schädliche Wirkungen auf die Entwicklung der Nachkommen von Ratten und Mäusen vor, die während der Embryonalphase dieser Strahlung ausgesetzt waren.

FR2 (24 bis 100 GHz): Zu den nichtthermischen Effekten der höheren Frequenzen wurden keine ausreichenden Studien durchgeführt.

## **7. Gesamtbewertung**

### **7.1 Krebs**

FR1 (450 bis 6 000 MHz): Diese FR1-Frequenzen sind für den Menschen wahrscheinlich karzinogen.

FR2 (24 bis 100 GHz): Zu den höheren Frequenzen wurden keine ausreichenden Studien durchgeführt.

### **7.2 Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit und die Entwicklung**

FR1 (450 MHz bis 6 000 MHz): Diese Frequenzen haben eindeutig Auswirkungen auf die männliche Fertilität. Sie haben möglicherweise Auswirkungen auf die weibliche Fertilität. Sie haben potenzielle schädliche Wirkungen auf die Entwicklung von Embryos, Feten und Neugeborenen.

FR2 (24 bis 100 GHz): Zu den nichtthermischen Effekten der höheren Frequenzen wurden keine ausreichenden Studien durchgeführt.

## **8. Politische Optionen**

### **8.1 Entscheidung für eine neue Technologie für Mobiltelefone, die eine Verringerung der HF-EMF-Exposition ermöglicht**

Die derzeit größte Bedrohung durch HF-Aussendungen scheint von Mobiltelefonen auszugehen. Zwar werden Sendeanlagen (Funkmasten) von manchen Menschen als das größte Risiko wahrgenommen, jedoch geht die größte Belastung für die Menschen im Allgemeinen von ihren eigenen Mobiltelefonen aus, und epidemiologische Studien haben eine statistisch signifikante Zunahme von Hirntumoren und Schwannomen der peripheren Nerven beobachtet, vor allem bei Menschen, die ihr Mobiltelefon intensiv nutzen.

Daher muss dafür gesorgt werden, dass immer sicherere Telefongeräte hergestellt werden, die wenig Energie abgeben und möglichst nur dann funktionieren, wenn sie sich in einem bestimmten Abstand zum Körper befinden. Der Hörer mit Kabel löst einen Großteil des Problems, ist aber unbequem und schreckt daher die Nutzer ab; andererseits ist es nicht immer möglich, den Lautsprechermodus zu verwenden. Die Option, die HF-EMF-Exposition durch Telefone so weit wie möglich zu verringern, gilt unabhängig von den verwendeten Frequenzen, von 1G bis 5G. In Ländern wie den USA und Kanada, in denen strengere SAR-Grenzwerte für Mobiltelefone gelten als in Europa, war man dennoch in der Lage, eine effiziente 1G-, 2G-, 3G- und 4G-Kommunikation aufzubauen (Madjar, 2016). Da 5G energieeffizienter als vorherige Technologien sein soll, wäre die Einführung strengerer Grenzwerte für Mobiltelefone in der EU ein nachhaltiger und zugleich vorsorglicher Ansatz.

### **8.2 Überarbeitung der Expositionsgrenzwerte für die Öffentlichkeit und die Umwelt, um die HF-EMF-Exposition durch Mobilfunkmasten zu verringern**

In jüngster Zeit hat die EU-Politik (Europäische Kommission, 2019) die Nachhaltigkeit eines neuen wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungsmodells gefördert, das neue Technologien zur ständigen Überwachung des Zustands des Planeten einsetzt, einschließlich Klimawandel, Energiewende, Agrarökologie und Erhaltung der biologischen Vielfalt. Die Nutzung der niedrigsten 5G-Frequenzen und die Einführung von vorsichtigen Expositionsgrenzwerten, wie sie unter anderem in Italien, der Schweiz, China und Russland verwendet werden und die deutlich unter den von der ICNIRP empfohlenen Werten liegen, könnten dazu beitragen, diese EU-Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.

### **8.3 Einführung von Maßnahmen, mit denen Anreize für die Reduzierung der HF-EMF-Exposition geschaffen werden**

Ein Großteil der beachtlichen Leistung der neuen drahtlosen 5G-Technologie mit niedrigerer Frequenz kann auch durch Verwendung von Glasfaserkabeln und Einführung von technischen Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition durch 1-G- bis 4-G-Systeme erreicht werden (Keiser, 2003; CommTech Talks, 2015; Zlatanov, 2017). Dies würde dort, wo ortsfeste Verbindungen erforderlich sind, die Exposition reduzieren. Zum Beispiel könnten Glasfaserkabel für die Verbindung von Schulen, Bibliotheken, Arbeitsplätzen, Wohnhäusern, öffentlichen Gebäuden und allen neuen Gebäuden usw. verwendet werden, und öffentliche Versammlungsorte könnten zu „HF-EMF-freien Zonen“ erklärt werden (ähnlich wie Nichtraucherzonen), um die passive Exposition von Personen zu vermeiden, die keine Mobiltelefone oder Fernübertragungstechniken verwenden, und so viele gefährdete ältere oder immungeschwächte Menschen, Kinder und elektrosensible Menschen zu schützen.

### **8.4 Förderung multidisziplinärer wissenschaftlicher Forschung, um die langfristigen gesundheitlichen Auswirkungen von 5G zu bewerten und eine geeignete Methode zur Überwachung der 5G-Exposition zu ermitteln**

In der Literatur finden sich keine ausreichenden Studien, die das Risiko ausschließen, dass bei einer Exposition gegenüber 5G-MMW Tumoren und schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzung und Entwicklung auftreten können, oder die die Möglichkeit von synergistischen Wechselwirkungen zwischen 5G und anderen, bereits verwendeten Frequenzen ausschließen. Daher ist die Einführung von 5G mit Unsicherheiten behaftet, sowohl in Bezug auf Gesundheitsfragen als auch auf die Vorhersage bzw. Überwachung der tatsächlichen Exposition der Bevölkerung: Diese Kenntnislücken rechtfertigen die Forderung nach einem Moratorium für MMW von 5G, bis hinreichende Forschungsarbeiten abgeschlossen sind.

Angesichts dieser Unsicherheiten besteht eine politische Option darin, die multidisziplinäre Teamforschung zu verschiedenen Faktoren der Expositionsbewertung und auch zu den biologischen Auswirkungen von 5G-MMW bei Frequenzen zwischen 6 und 300 GHz zu fördern, und zwar sowohl auf den Menschen als auch auf die Flora und Fauna der Umwelt, z. B. nichtmenschliche Wirbeltiere, Pflanzen, Pilze und Wirbellose.

MMW werden erst mit dem endgültigen 5G-Protokoll eingeführt, also erst in drei bis fünf Jahren. Angesichts dieses Zeitrahmens ist eine Möglichkeit, ihre Auswirkungen zu untersuchen, bevor die gesamte Weltbevölkerung und die Umwelt dieser Technologie ausgesetzt werden.

Die Einführung der MMW-5G-Technologie ohne weitere Präventivstudien würde bedeuten, dass ein „Experiment“ an der menschlichen Bevölkerung durchgeführt wird, dessen Konsequenzen völlig ungewiss sind. Um beim Beispiel Europa zu bleiben, könnte dies in einem Bereich wie Chemie erfolgen, die derzeit durch die REACH-Verordnung (EG) 1907/2006 geregelt wird.

Ziel von REACH ist es, den Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt durch eine bessere und frühere Identifizierung der inhärenten Eigenschaften von chemischen Stoffen zu verbessern. EU-REACH regelt die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe. Mit der Verordnung sollen außerdem Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit der Chemikalienindustrie der EU gestärkt werden. EU-REACH beruht auf dem Grundsatz „keine Daten, kein Markt“ und überträgt der Industrie die Verantwortung für die Bereitstellung von Sicherheitsinformationen über Stoffe. Hersteller und Importeure müssen Informationen über die Eigenschaften ihrer chemischen Stoffe sammeln, die einen sicheren Umgang mit ihnen ermöglichen, und diese Informationen in einer zentralen Datenbank bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) registrieren. Eine politische Option könnte sein, den gleichen Ansatz auf alle Arten von technologischen Innovationen anzuwenden.

Die Ergebnisse dieser Studien könnten die Grundlage für die Entwicklung einer evidenzbasierten Politik bezüglich der HF-EMF-Exposition menschlicher und nichtmenschlicher Organismen durch 5G-MMW-Frequenzen bilden. Es sind weitere Studien erforderlich, um die gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF im Allgemeinen und von MMW im Speziellen besser und unabhängig zu untersuchen.

### **8.5 Förderung von Informationskampagnen zu 5G**

Es besteht ein Mangel an Informationen zu den potenziellen Gefahren von HF-EMF. Die Informationslücke schafft Raum für Leugner und Panikmacher und führt in zahlreichen EU-Ländern zu sozialen und politischen Spannungen. Öffentliche Informationskampagnen sollten daher eine Priorität sein.

Informationskampagnen sollten auf allen Ebenen durchgeführt werden, angefangen bei den Schulen. Die Menschen sollten über die potenziellen gesundheitlichen Risiken, aber auch über die Möglichkeiten der digitalen Entwicklung, die infrastrukturellen Alternativen für die 5G-Übertragung, die von der EU und den Mitgliedstaaten ergriffenen Sicherheitsmaßnahmen (Expositionsgrenzwerte) und die richtige Verwendung von Mobiltelefonen informiert werden. Nur mit belastbaren und akkuraten Informationen können wir das Vertrauen der Bürger zurückgewinnen und eine gemeinsame Einigung über eine technologische Entscheidung erzielen, die bei richtiger Handhabung große soziale und wirtschaftliche Vorteile bringen kann.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>IV</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Hintergrund	1
1.2 Das Expositionsszenarium	1
1.2.1 Aktuelles Expositionsszenarium	1
1.2.2 Das 5G-Expositionsszenarium	2
1.2.3 5G: Beamforming und MIMO	3
1.3 Übersicht der politischen Maßnahmen international und in Europa	8
1.3.1 Internationale Organisationen	8
1.3.2 Europäische Organisationen und Regierungen (nach Jahr)	8
1.4 Nicht in dieser Überprüfung analysierte biologische Wirkungen (sowohl FR1 als auch FR2)	11
1.5 Soziale Konflikte im Zusammenhang mit 5G	13
<b>2. Ziele der Studie und Methodik</b>	<b>15</b>
2.1 Hintergrund	15
2.1.1 Krebs	15
2.1.2 Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung	17
2.2 Suchstrategie	18
2.3 Auswahl der relevanten Literatur	19
2.4 Screening-Verfahren	20
2.5 Extraktion von Informationen aus der relevanten Literatur	20
2.6 Evidenzsynthese	21
2.7 Gesamtbewertung der vorliegenden Überprüfung	21
<b>3. Einschränkungen der vorliegenden Überprüfung</b>	<b>24</b>
3.1 Bewertung einzelner Studien	24
3.2 Expositionsbewertung	24

3.3	Einschränkungen für eine systematische Überprüfung von 5G-Frequenzen	25
3.4	Gesamtbewertung	25
<b>4.</b>	<b>Bewertung einzelner Studien</b>	<b>26</b>
4.1	Karzinogenität nach Frequenzbereich	26
4.1.1	Krebs in epidemiologischen Studien: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF im niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6 000 MHz) untersuchen, was auch die Frequenzen einschließt, die in den Breitband-Mobilfunknetzen früherer Generationen (1G bis 4G) genutzt werden.	26
4.1.2	Krebs in epidemiologischen Studien: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW) untersuchen.	62
4.1.3	Krebs bei Versuchstieren: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF im niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6 000 MHz) untersuchen, was auch die Frequenzen einschließt, die in den Breitband-Mobilfunknetzen früherer Generationen (1G, 2G, 3G, 4G) genutzt werden.	69
4.1.4	Krebs bei Versuchstieren: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW) untersuchen.	82
4.2	Schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung nach Frequenzbereich	84
4.2.1	Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung in epidemiologischen Studien: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF im niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6 000 MHz) untersuchen, was auch die Frequenzen einschließt, die in den Breitband-Mobilfunknetzen früherer Generationen (1G, 2G, 3G, 4G) genutzt werden.	84
4.2.2	Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung in epidemiologischen Studien: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW) untersuchen.	124
4.2.3	Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF im niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6 000 MHz) untersuchen, was auch die Frequenzen einschließt, die in den Breitband-Mobilfunknetzen früherer Generationen (1G, 2G, 3G, 4G) genutzt werden.	130
4.2.4	Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW) .	166
<b>5.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>168</b>
5.1	Krebs und niedrigere Telekommunikationsfrequenzen (FR1: 450 bis 6 000 MHz)	169
5.1.1	HF-EMF (FR 1: 450 bis 6 000 MHz) und Krebs beim Menschen	170
5.1.2	HF-EMF (FR1: 450 bis 6 000 MHz) und Krebs bei Versuchstieren	172
5.2	Krebs und höhere Telekommunikationsfrequenzen (FR2: 24 bis 100 GHz)	174

5.2.1	HF-EMF (FR2: 24 bis 100 GHz) und Krebs beim Menschen	174
5.2.2	HF-EMF (FR2: 24 bis 100 GHz) und Krebs bei Versuchstieren	175
5.3	Schädliche Wirkung auf Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung und niedrigere Telekommunikationsfrequenzen (FR1: 450 bis 6 000 MHz)	175
5.3.1	HF-EMF (450 bis 6 000 MHz) und schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen.	175
5.3.2	HF-EMF (450 bis 6000 MHz) und schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren.	176
5.4	Schädliche Wirkung auf Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung und höhere Telekommunikationsfrequenzen (FR2: 24 bis 100 GHz)	177
5.4.1	Schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen (FR2: 24 bis 100 GHz)	177
5.4.2	Schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung in Studien an Versuchstieren (FR2: 24 bis 100 GHz)	178
<b>6.</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>179</b>
6.1	Telekommunikationsfrequenzen FR1: 450 MHz–6 000 MHz	179
6.1.1	Krebs beim Menschen	179
6.1.2	Krebs bei Versuchstieren	179
6.1.3	Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen	179
6.1.4	Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren	179
6.2	Telekommunikationsfrequenzen FR2: 24 bis 100 GHz	179
6.2.1	Krebs beim Menschen	179
6.2.2	Krebs bei Versuchstieren	179
6.2.3	Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen	179
6.2.4	Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren	179
6.3	Gesamtbewertung	180
6.3.1	Krebs	180
6.3.2	Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit und die Entwicklung	180
<b>7.</b>	<b>Politische Optionen</b>	<b>181</b>

7.1	Entscheidung für neuartige Technologien für Mobiltelefone, die eine Verringerung der HF-Exposition ermöglichen .....	181
7.2	Überarbeitung der Expositionsgrenzwerte für die Öffentlichkeit und die Umwelt, um die HF-Exposition durch Mobilfunkmasten zu verringern .....	181
7.3	Einführung von Maßnahmen, mit denen Anreize für die Reduzierung der HF-EMF-Exposition geschaffen werden .....	182
7.4	Förderung multidisziplinärer wissenschaftlicher Forschung, um die langfristigen gesundheitlichen Auswirkungen von 5G zu bewerten und eine geeignete Methode zur Überwachung der 5G-Exposition zu ermitteln .....	182
7.5	Förderung von Informationskampagnen zu 5G .....	183
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>184</b>
8.1	Allgemeines Literaturverzeichnis .....	184
8.2	Literaturverzeichnis für die Überprüfung zum Thema Krebs beim Menschen .....	190
8.3	Literaturverzeichnis für die Überprüfung zum Thema Krebs bei Versuchstieren .....	198
8.4	Literaturverzeichnis für die Überprüfung der Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen .....	200
8.5	Literaturverzeichnis für die Überprüfung der Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren .....	202



## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1 – Geschichte der Mobilfunktechnologie	2
Abbildung 2 – 3G vs. 4G vs. 5G	3
Abbildung 3 – 5G benötigt andere Frequenzbänder	4
Abbildung 4 – Status des 5G-Spektrums nach Dashboard und Auktionen in Europa	5
Abbildung 5 – Status des 5G-Spektrums nach Auktionen in Europa (FR1: 700 MHz)	5
Abbildung 6 – Status des 5G-Spektrums nach Auktionen in Europa (FR1: 3,4 –3,8 GHz)	6
Abbildung 7 – IARC-Kriterien für Gesamteinstufungen (die fett und kursiv gedruckten Nachweise bilden die Grundlage für die Gesamtbewertung) (Quelle: IARC-Präambel, 2019)	22
Abbildung 8 – Kriterien für die Gesamtbewertung in der vorliegenden Überprüfung (FR1 und FR2)	23
Abbildung 9 – Flussdiagramm. Epidemiologische Studien zu Krebs (FR1)	27
Abbildung 10 – Flussdiagramm. Epidemiologische Studien zu Krebs für FR2	63
Abbildung 11 – Flussdiagramm. Krebs in Studien an Versuchstieren, FR1:	70
Abbildung 12 – Flussdiagramm. Krebs in Studien an Versuchstieren, FR2	83
Abbildung 13 – Flussdiagramm. Epidemiologische Studien zu den Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung, FR1	85
Abbildung 14 – Flussdiagramm. Epidemiologische Studien zu den Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung, FR2	125
Abbildung 15 – Flussdiagramm. Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren, FR1	131
Abbildung 16 – Flussdiagramm. Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren (FR2)	167
Abbildung 17 – Das schwedische nationale Register über stationäre Patienten (Quelle: Hardell und Carlberg, 2017): Männer	170
Abbildung 18 – Das schwedische nationale Register über stationäre Patienten (Quelle: Hardell und Carlberg, 2017): Frauen	171
Abbildung 19 – Trends bei der Inzidenz aller bösartigen Hirntumoren in England	172

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1 – Krebs in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (a) _____	40
Tabelle 2 – Krebs in epidemiologischen ökologischen Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (a) __	55
Tabelle 3 – Krebs in epidemiologischen Kohortenstudien (450–6 000 MHz) (a) _____	56
Tabelle 4 (Zusammenfassung 1–3) – Erhobene Daten zu Krebs in epidemiologischen Studien (450–6 000 MHz) _____	60
Tabelle 5 – Von der Radarkommunikation genutzter Frequenzbereich _____	64
Tabelle 6 – Krebs in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien (24 bis 100 GHz, MMW) (a) _____	66
Tabelle 7 (Zusammenfassung 6 a, b) – Zusammenfassende Tabelle für epidemiologische Studien zu Krebs, FR2: 24–100 GHz _____	68
Tabelle 8 – Krebs bei Versuchstieren: Zwei-Jahres-Krebs-Bioassays an Mäusen (450–6 000 MHz) (a) 77	
Tabelle 9 – Krebs bei Versuchstieren: Zwei-Jahres-Krebs-Bioassays an Ratten (450–6 000 MHz) (a) _	78
Tabelle 10a – Krebs bei Versuchstieren: tumoranfällige Mäuse (Tabelle 450–6 000 MHz) (a) _____	79
Tabelle 10b – Krebs bei Versuchstieren: Studie zur Förderung von Erkrankungen bei Mäusen (450–6 000 MHz) (a) _____	79
Tabelle 11 (zusammenfassende Tabellen 8–10) – Erhobene Daten für experimentelle Studien zu Krebs (FR1: 450–6 000 MHz) _____	80
Tabelle 12 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: männliche Fertilität, epidemiologische Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (a) _____	101
Tabelle 13 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: männliche Fertilität, epidemiologische Querschnittstudien (450–6 000 MHz) (beruflich) (a) _____	102
Tabelle 14 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: männliche Fertilität, epidemiologische Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (a) _____	108
Tabelle 15 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: Wirkungen auf die Entwicklung, epidemiologische Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (a) _____	111
Tabelle 17 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: Wirkungen auf die Entwicklung, epidemiologische Kohortenstudien (450–6 000 MHz) (a) _____	115
Tabelle 18 (zusammenfassende Tabellen 12–17) – Gesammelte Daten für epidemiologische Studien zu Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung (FR1: 450–6 000 MHz) _____	123
Tabelle 19 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: männliche Fertilität, epidemiologische Fall-Kontroll-Studien (24–100 GHz) (a) _____	127
Tabelle 20 (zusammenfassende Tabellen 19 a,b) – Gesammelte Daten für epidemiologische Studien zu Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung (FR2: 24–100 GHz). _____	129
Tabelle 21 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Reproduktionstoxizität bei männlichen Mäusen (450–6 000 MHz) (a) _____	152
Tabelle 22 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Reproduktionstoxizität bei weiblichen Mäusen (450–6 000 MHz) (a) _____	154
Tabelle 23 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Reproduktionstoxizität bei männlichen Ratten (450–6 000 MHz) (a) _____	154

Tabelle 24 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: :  
Entwicklungstoxizität bei Hamstern (450–6 000 MHz) (a) \_\_\_\_\_ 158

Tabelle 25 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren:  
Entwicklungstoxizität bei Mäusen (450–6 000 MHz) (a) \_\_\_\_\_ 158

Tabelle 26 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren:  
Entwicklungstoxizität bei Ratten (450–6 000 MHz) (a) \_\_\_\_\_ 162

Tabelle 27 (zusammenfassende Tabellen 21–26 [a,b]) – Gesammelte Daten für experimentelle Studien zu  
Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung (FR1: 450–6 000 MHz) \_\_\_\_\_ 164

## Verzeichnis der Abkürzungen

1G, 2G, 3G, 4G, 5G	Erste bis fünfte Generation der Telekommunikation
2-ME	2-Methoxyethanol
3 $\beta$ -HSD	3 $\beta$ -Hydroxysteroid-Dehydrogenase
17 $\beta$ -HSD	17 $\beta$ -Hydroxysteroid-Dehydrogenase
3GPP	3 <sup>rd</sup> Generation Partnership Project
ABCD	Studie „Amsterdam-born children and their development“ [in Amsterdam geborene Kinder und ihre Entwicklung]
AKR/J	Maus-Stamm
ANSES	Französische Behörde für Lebensmittelsicherheit, Umweltschutz und Arbeitsschutz
AOR	um Kovariaten bereinigte Odds-Ratio (covariate-adjusted odds ratio)
APD	jährliche Leistungsdichte (annual power density)
AR	Akrosomreaktion
ASP	jährliche aufsummierte Leistung (annual summarised power)
AUDIPOG	Beurteilung des Wachstums von Neugeborenen (Punktwert ausgedrückt als Perzentil)
B6C3F1/N	Maus-Stamm
BALB/c	Maus-Stamm
BAX	Bcl-2-assoziiertes X-Protein
BCL-2	B-Zell-Lymphom-2-Protein (B-cell lymphoma 2)
BCL-XL	B-Zell-Lymphom-Extra-Large-Protein (B-cell lymphoma-extra large)
BLL	Blutbleispiegel (blood lead level)
BMI	Body-Mass-Index
BS	Basisstation(en)
C3H/HeA	transgene Maus
C57BL/6	Maus-Stamm
CANULI	Aus dem dänischen „cancer og social ulighed“ (Krebs und soziale Ungleichheit), Kohortenstudie
CAT	Katalase
CEFALO	multizentrische Fall-Kontroll-Studie
CERENAT	multizentrische Fall-Kontroll-Studie
CDF	kumulative Verteilungsfunktion (cumulative distribution function)
CDMA	Codemultiplexverfahren (code division multiple access)
CGRP	Calcitonin Gene-Related Peptide
KI	Konfidenzintervall
ZNS	zentrales Nervensystem
CRP	C-reaktives Protein

---

CW	kontinuierliche Welle (continuous wave)
DECT	digital verstärkte drahtlose Telekommunikation (digital enhanced cordless telecommunications)
DFI	DNA-Fragmentierungsindex
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DNBC	Danish National Birth Cohort
ECHA	Europäische Chemikalienagentur
EARTH	Environment and Reproductive Health Study
EMF	elektromagnetisches Feld
ENU	N-Ethyl-N-Nitrosoharnstoff
EPM	erhöhtes Plus-Labyrinth (elevated plus maze)
EPRS	Wissenschaftlicher Dienst des Europäischen Parlaments (European Parliamentary Research Service)
Era	Östrogenrezeptor alpha
Erβ	Östrogenrezeptor beta
EU	Europäische Union
Eμ-Piml	transgene Maus
W	weiblich
FCC	Bundeskommunikationskommission (Federal Communications Commission)
BAFU	Bundesamt für Umwelt
FOMA	„Freedom of Mobile Multimedia Access“ [ein japanisches Mobilfunknetz der 3. Generation]
FR1	niedrigeres Frequenzband (450 MHz – 6 GHz)
FR2	höheres Frequenzband (24 – 100 GHz)
FST	erzwungener Schwimmtest (forced swimming test)
GS	Gallussäure
GADD45	Wachstumsstillstand- und DNA-Schaden-induzierbares Protein 45 (growth arrest and DNA damage 45)
GBD	globale Belastung durch Krankheiten, Verletzungen und Risikofaktoren (global burden of diseases, injuries and risk factors)
GT	Schwangerschaftstag
GERoNiMO	generalisierte EMF-Forschung mittels neuartiger Methoden
GFAP	saures Gliafaserprotein (glia fibrillary acidic protein)
GHz	Gigahertz
GIS	Geografische Informationssysteme
GSH	Glutathion
GSH-Px	Glutathion-Peroxidase
GSM	globales Mobilfunksystem (global system for mobile communications)
GR	γ-Strahlung (gamma radiation)

H2O2	Wasserstoffperoxid
HSP70 (oder 25 oder 32):	Hitzeschockproteine mit 70 (oder 25 oder 32) Kilodalton
IARC	Internationale Agentur für Krebsforschung (International Agency for Research on Cancer)
IATPF	International Academy of Toxicologic Pathology Fellow
ICNIRP	Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
ICR	Maus-Stamm
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission (International Electrotechnical Commission)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEMFA	International EMF Alliance
IL-6 (oder -10 oder -32)	Interleukin-6 (oder -10 oder -32)
ILO	Internationale Arbeitsorganisation (International Labour Organization)
INMA	spanisches Projekt für Umwelt und Kinder
INTERPHONE	eine Reihe internationaler Fall-Kontroll-Studien
INTEROCC	internationale Fall-Kontroll-Studie
IoT	Internet der Dinge (internet of things)
ISTISAN	Bericht des italienischen nationalen Gesundheitsinstituts (Istituto Superiore di Sanità)
IRR	Inzidenzratenverhältnis
ITA	österreichisches Institut für Technikfolgen-Abschätzung
IT'IS	Foundation for Research on Information Technologies in Society
JECS	Japanische Studie zu Umwelt und Kindern
kHz	Kilohertz
LH	luteinisierendes Hormon
LTE	Long-Term Evolution
M	männlich
MARHCS	Kohortenstudie Male Reproductive Health in Chongqing College (Fortpflanzungsgesundheit von Männern bei College-Studenten in Chongqing)
MDA	Malondialdehyd
MDI	Index der geistigen Entwicklung (mental development index)
MEL	Melatonin
MHz	Megahertz
MIMO	Mehrere Sende- und Empfangsantennen (multiple-input and multiple-output antennas)
MMP2 (oder 14)	Matrix-Metalloprotease 2 (oder 14)
MMW	Millimeterwelle(n)
MoBa	prospektive populationsbasierte Schwangerschafts-Kohortenstudie
XX	

MOCEH	Koreanische „Mothers and Children's Environmental Health“-Studie
MOE	Moringa-Extrakt
MPBS	Mobilfunkbasisstation(en) (mobile phone base station[s])
MW	Millimeterwellen
MWM	Morris-Wasserlabyrinth (Morris water maze)
NéHaVi	Kohortenstudie
NIS	nichtionisierende Strahlung
NMRI	Maus-Stamm
NO	Stickoxid (nitric oxide)
NOS	Stickoxidsynthase (nitric oxide synthase)
NTP	US-amerikanisches nationales Toxikologieprogramm (National Toxicology Program)
NTP TR	technischer Bericht des National Toxicology Program
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Organisation for Economic Co-operation and Development)
OFT	Test im freien Gelände (open field test)
OR	Odds-Ratio
OSI	Index für oxidativen Stress (oxidative stress index)
PARP	Poly(ADP-Ribose)-Polymerase
P21	Inhibitor Cyclin-abhängiger Kinasen 1
P450scc	Cholesterin-Seitenketten-Spaltungsenzym
P53	Tumorprotein P53
PCNA	proliferierendes Zellkernantigen (proliferating cell nuclear antigen)
PD	Leistungsdichte (power density)
PDI	Index der psychomotorischen Entwicklung (psychomotor development index)
PECO	Population, Exposition, Kontrolle und Ergebnis (population, exposure, comparator and outcome)
PEM	persönliches Expositionsmessgerät
PGE2	Prostaglandin E2
PNT	Postnaltag
PRISMA-ScR	bevorzugte Berichtelemente für systematische Überprüfungen und Metaanalysen – Erweiterung für Scoping Reviews
REACH	Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals)
HF	Hochfrequenz
HFS	Hochfrequenzstrahlung
HF-EMF	hochfrequentes elektromagnetisches Feld
RW	Referenzwert(e)
ROS	reaktive Sauerstoffspezies (reactive oxygen species)

RR	relatives Risiko
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
SAR	spezifische Absorptionsrate
SCENIHR	Wissenschaftlicher Ausschuss „Neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken“ der Europäischen Kommission
SCHEER	Wissenschaftlicher Ausschuss „Gesundheitsrisiken, Umweltrisiken und neu auftretende Risiken“
SDQ	Fragebogen zu Stärken und Problemen (strengths and difficulties questionnaire)
QEM	Quellen-Expositions-Matrix
SF1	Spleißfaktor 1
SOD	Superoxid-Dismutase
SPOCK3	PARC (osteonectin), cwcv and kazal-like domains proteoglycan 3
SSM	Schwedisches Amt für Strahlenschutz
SR	Scoping Review
StAR	steroidogenes akutes regulatorisches Protein
STOA	Lenkungsgruppe zur Zukunft von Wissenschaft und Technologie des Europäischen Parlament
TAC	totale antioxidative Kapazität (total antioxidant capacity)
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
GSZ	Gesamtspermienzahl
TST	Tail-Suspension-Test
UE	Teilnehmergerät (user equipment)
UHF	ultrahohe Frequenzen
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Universelles mobiles Telekommunikationssystem)
VK	Vereinigtes Königreich
V/m	Volt/Meter
VEGF	vaskulärer endothelialer Wachstumsfaktor (vascular endothelial growth factor)
W/kg	Watt/Kilogramm
WHO	Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization)



# 1. Einleitung

## 1.1 Hintergrund

In den letzten Jahrzehnten hat sich eine beispiellose Entwicklung von Technologien vollzogen, die als Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) bekannt sind. Dazu gehören die drahtlose Kommunikation, die für Mobiltelefone genutzt wird, und beispielsweise WLAN, das hochfrequente elektromagnetische Felder (EMF) nutzt. Die erste Generation von tragbaren Mobiltelefonen war in den späten 1980er Jahren erhältlich. Danach breiteten sich die zweite (2G), dritte (3G) und vierte (4G, „Long-Term Evolution“ = LTE) Generation in der Gesellschaft rasant aus, sodass es in Europa heute mehr Geräte als Einwohner gibt. Darüber hinaus sind WLAN und andere Formen der drahtlosen Datenübertragung inzwischen allgegenwärtig und weltweit verfügbar. Derzeit beginnt man mit der Einführung der nächsten Generation von HF, 5G, in Mobilfunknetzen. Bei 5G handelt es sich um keine neue Technologie, sondern um eine Weiterentwicklung der bereits bestehenden Technologien G1 bis G4.

## 1.2 Das Expositionsszenarium

### 1.2.1 Aktuelles Expositionsszenarium

Die verschiedenen Expositionssituationen, die bei der intensiven Nutzung von Telekommunikationstechnik auftreten können, wurden in der Monographie 102 der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC, 2013) gut beschrieben. Die Monographie 102 befasst sich mit nicht ionisierender Strahlung im HF-Bereich des elektromagnetischen Spektrums, d. h. zwischen 30 kHz und 300 GHz, also auch mit den für die vorliegende Überprüfung relevanten Frequenzen.

Die entsprechenden Wellenlängen (der Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Spitzen von HF-Wellen) reichen von 10 km bis 1 mm. Die von HF-Quellen erzeugten EMF koppeln sich an den menschlichen Körper an, was zur Induktion von elektrischen und magnetischen Feldern und damit verbundenen Strömen in den Geweben des Körpers führt (IARC, 2013). Die Exposition des Menschen gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) kann durch die Verwendung von persönlichen Geräten (z. B. Mobiltelefone, schnurlose Telefone, Bluetooth und Amateurfunkgeräte), durch Quellen am Arbeitsplatz (z. B. hochfrequente dielektrische und Induktionsheizungen und gepulste Hochleistungsradargeräte) und durch Umweltquellen wie Mobilfunkbasisstationen, Rundfunkantennen und medizinische Anwendungen stattfinden.

Bei Arbeitern geht der größte Teil der Exposition gegenüber HF-EMF von Nahfeldquellen aus, während die Allgemeinbevölkerung am stärksten von körpernahen Sendern, z. B. von Handgeräten wie Mobiltelefonen, belastet wird. Die Exposition gegenüber Hochleistungsquellen am Arbeitsplatz kann den Eintrag einer höheren kumulativen HF-Energie im Körper zur Folge haben als die Exposition gegenüber Mobiltelefonen, aber die lokale Energie, die in das Gehirn eingetragen wird, ist im Allgemeinen geringer.

Die typische Exposition des Gehirns durch auf Dächern oder Masten montierte Mobilfunkbasisstationen sowie durch Fernseh- und Radiosender ist um mehrere Größenordnungen geringer als die Exposition durch GSM-Mobilgeräte. Die durchschnittliche Exposition bei der Verwendung von DECT-Telefonen (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) ist etwa fünfmal niedriger als bei GSM-Telefonen, und Telefone der dritten Generation (3G) strahlen bei starken Signalen im Durchschnitt etwa 100-mal weniger HF-Energie aus als GSM-Telefone. Gleichmaßen ist die durchschnittliche Ausgangsleistung von drahtlosen Bluetooth-Freisprecheinrichtungen schätzungsweise etwa 100-mal geringer als die von Mobiltelefonen.

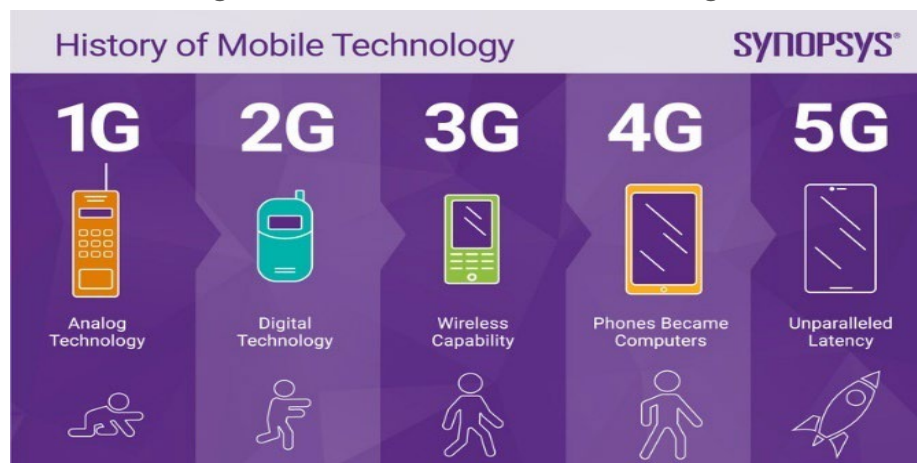
Von HF-Quellen erzeugte EMF koppeln sich an den Körper an, was zur Induktion von elektrischen und magnetischen Feldern und damit einhergehenden Strömen in Geweben führt. Die wichtigsten Faktoren, die diese induzierten Felder bestimmen, sind der Abstand der Quelle vom Körper und die

Ausgangsleistung (IARC, 2013). Das Nahfeld und das Fernfeld sind Bereiche des EMF in der Umgebung eines Objekts, z. B. einer Sendeantenne, oder entstehen durch die von einem Objekt ausgehende Streustrahlung. In der Nähe der Antenne oder des streuenden Objekts (Mobiltelefon) dominiert das nicht-strahlende Nahfeldverhalten, während in größerer Entfernung das Fernfeldverhalten der elektromagnetischen Strahlung dominiert (BC Center for Disease Control, 2013).

Ferner hängen die Effizienz der Kopplung und die daraus resultierende Feldverteilung im Körper stark von der Frequenz, der Polarisierung und der Richtung des Welleneinfalls auf den Körper sowie von den anatomischen Merkmalen der exponierten Person ab, einschließlich Körpergröße, Body-Mass-Index, Körperhaltung und dielektrische Eigenschaften des Gewebes. Die induzierten Felder innerhalb des Körpers sind hochgradig ungleichmäßig, erstrecken sich über mehrere Größenordnungen und weisen lokale Hotspots auf. Wenn ein Mobiltelefon zum Tätigen eines Anrufs an das Ohr gehalten wird, kann dies zu hohen spezifischen HF-Energieabsorptionsraten (Specific Absorption Rate = SAR) im Gehirn führen, je nach Bauart und Position des Telefons und seiner Antenne im Verhältnis zum Kopf, der Art, wie das Telefon gehalten wird, der Anatomie des Kopfes und der Qualität der Verbindung zwischen Basisstation und Telefon. Wenn Kinder Mobiltelefone verwenden, ist der durchschnittliche Eintrag von HF-Energie in das Gehirn doppelt so hoch und in das Knochenmark des Schädels bis zu zehnfach höher als bei der Handynutzung durch Erwachsene. Die Verwendung von Freisprecheinrichtungen senkt die Exposition des Gehirns auf unter 10 % der Exposition bei Verwendung am Ohr, kann aber die Exposition anderer Körperteile erhöhen (IARC, 2013).





## 1.2.2 Das 5G-Expositionsszenarium

Abbildung 1 – Geschichte der Mobilfunktechnologie



Mit der bevorstehenden Einführung von 5G-Mobilfunknetzen werden deutlich schnellere mobile Breitbandgeschwindigkeiten und eine immer umfangreichere mobile Datennutzung ermöglicht. Zu den technischen Neuerungen gehören ein anderes Übertragungssystem (MIMO: mehrere Sende- und mehrere Empfangsantennen), direktionales Senden oder Empfangen von Signalen („Beamforming“) und die Nutzung anderer Frequenzbereiche. Dies wird durch die Nutzung zusätzlicher höherer Frequenzbänder (Millimeterwellen = MMW) ermöglicht. 5G soll die Schnittstelle der Kommunikation sein, von der virtuellen Realität über autonome Fahrzeuge bis hin zum industriellen Internet und intelligenten Städten. Darüber hinaus gilt 5G als Basistechnologie für das Internet der Dinge (IoT), bei dem Maschinen mit Maschinen kommunizieren. Gleichzeitig wird erwartet, dass sich das Ausmaß, in dem Mensch und Umwelt EMF ausgesetzt sind, ändern wird (Abbildungen 1 und 2).

Abbildung 2 – 3G vs. 4G vs. 5G

		3G	4G	5G
	Deployment	2004-05	2006-10	2020
	Bandwidth	2mbps	200mbps	>1gbps
	Latency	100-500 milliseconds	20-30 milliseconds	<10 milliseconds
	Average Speed	144 kbps	25 mbps	200-400 mbps

Die 5G-Netze werden in verschiedenen Frequenzbändern arbeiten, wobei der Vorschlag lautet, die niedrigeren Frequenzen dieser Technologie für die erste Phase der 5G-Netze zu nutzen. Mehrere dieser Frequenzen (grundsätzlich unter 1 GHz – Ultrahohe Frequenzen) wurden oder werden bereits für frühere Generationen der mobilen Kommunikation genutzt. Darüber hinaus ist geplant, in späteren Phasen der Entwicklung der Technologie auch deutlich höhere HF zu verwenden.

Die Arbeitsfrequenzen der niedrigen und mittleren Bänder können sich mit dem aktuellen 4G-Band bei 6 GHz oder darunter überschneiden. Die biologischen Auswirkungen der HF-Strahlung in diesen niedrigeren Frequenzbändern sind daher wahrscheinlich mit denen von 2G, 3G oder 4G vergleichbar. Die Szenarien des 5G-Hochbands, insbesondere für 24 GHz bis 60 GHz im MMW-Bereich für drahtlose Datenkommunikation mit hoher Kapazität und kurzer Reichweite, sind jedoch relativ neu und stellen eine große Herausforderung für die Bewertung der Gesundheitsrisiken dar (Lin, 2020). Die letztgenannten Frequenzbänder werden traditionell für Radar- und Mikrowellenverbindungen genutzt (Simkò und Mattson, 2019), und nur sehr wenige wurden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit untersucht.

### 1.2.3 5G: Beamforming und MIMO

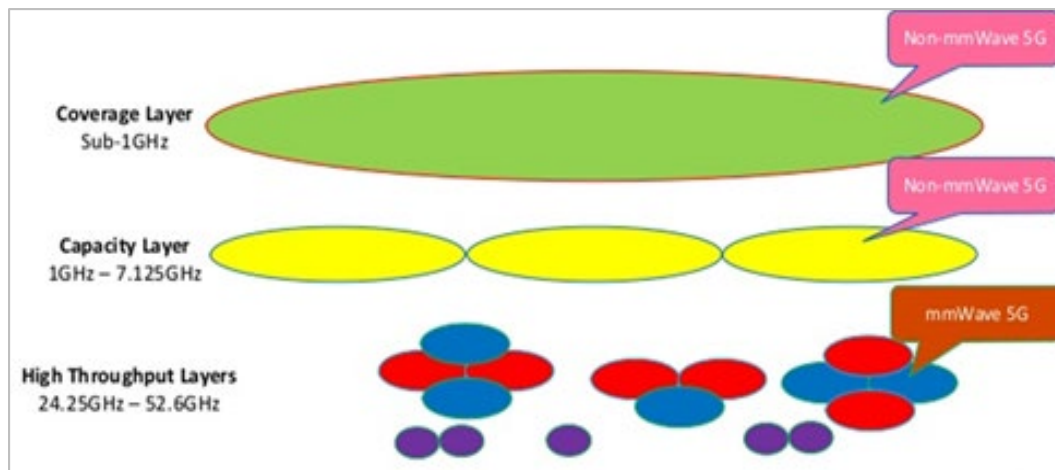
Die jüngste Zunahme des Mobiltelefonverkehrs über das Mikrowellenfrequenzband hat die Aufmerksamkeit auf das breite MMW-Spektrum gelenkt, das bisher nur in geringem Maße genutzt wurde. Bis zur 4G-Technologie wurden für die Mobiltelefon-Kommunikation Frequenzen unter 3 GHz genutzt, und die Vorstellung, dass höhere Frequenzen (über 3 GHz) durch physische Hindernisse stärker gedämpft werden, ließ die niedrigeren Frequenzen zuverlässiger erscheinen. Durch intelligentes Beamforming werden jedoch die Abdeckung verbessert und Interferenzen auf ein Minimum reduziert. Die Technik der dynamischen Funkmasten mit Beamforming, kombiniert mit Multi-User-MIMO (MU-MIMO), bildet die Grundlage von 5G NR (New Radio). Zusammen ermöglichen sie die Unterstützung von über 1 000 Geräten mehr pro Quadratmeter als bei 4G, sodass viel mehr Nutzer Daten ultraschnell mit hoher Präzision und geringer Latenzzeit erhalten.

MIMO wurde ursprünglich für Single-User-Anwendungen (SU-MIMO) entwickelt, um die Effizienz von LTE-Netzen (4G) zu verbessern. Schnell gelangte man zu der Erkenntnis, dass diese Technologie auf Multi-User-Anwendungen ausgedehnt werden kann, um das Problem der Interferenzen innerhalb einer Zelle zu verringern oder zu vermeiden. Daraus entstand eine Reihe von Lösungen, die als MU-MIMO bekannt sind (David und Viswanath, 2005). Andererseits warf die Umsetzung dieser Maßnahmen unweigerlich Fragen nach den gesundheitlichen Auswirkungen auf. Das Europäische Parlament befasste sich in einem Dokument aus dem Jahr 2019 über den Stand der Entwicklung der 5G-Verbreitung in Europa, den USA und Asien mit dem Thema:

*„Es gibt erhebliche Bedenken hinsichtlich der möglichen Auswirkungen auf Gesundheit und Sicherheit, die sich aus der potenziell viel höheren Exposition gegenüber hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung durch 5G*

ergeben. Eine höhere Exposition kann sich nicht nur aus der Verwendung deutlich höherer Frequenzen in 5G ergeben, sondern auch aus dem Potenzial für die Aggregation verschiedener Signale, ihrer dynamischen Natur und den komplexen Interferenzeffekten, die sich daraus ergeben können, insbesondere in dicht besiedelten städtischen Gebieten. Die 5G-Funkfelder unterscheiden sich deutlich von denen früherer Generationen, da sie in beide Richtungen – von der Basisstation zum Mobilgerät und zurück – die Übertragung komplex geformter Strahlen ermöglichen. Obwohl die Felder durch die Strahlen stark fokussiert werden, sind sie im Laufe der Zeit und aufgrund von Bewegungen hoch variabel und sind daher unvorhersehbar, da die Signalpegel und -muster als geschlossenes System zusammenwirken. Dies muss noch zuverlässig für reale Situationen außerhalb des Labors abgebildet werden“ (Blackman und Forge, 2019).

Abbildung 3 – 5G benötigt andere Frequenzbänder



Quelle: Qualcomm, 2020

5G wird eine Vielzahl verschiedener Funkspektren nutzen (Abb. 4). Sie sind je nach Anforderungen des Benutzers in drei verschiedene Ebenen unterteilt.

- die „*Coverage Layer*“ (Abdeckungsschicht), mit Frequenzen unter 1 GHz, ermöglicht eine großflächige Abdeckung in Außenbereichen und eine tiefgehende Abdeckung in Innenbereichen. Sie besteht im Wesentlichen aus einem Frequenzband, das vom digitalen Fernsehen verwendet wird und Hindernisse gut durchdringt. Dieses System verwendet kein Beamforming und ähnelt in Bezug auf die Verwaltung der Funk-Basisstationen (RBS), die die 4G-Technologie verwenden, wobei jedoch möglicherweise ein Korrekturfaktor (Koeffizient zur Verringerung der Spitzenleistung) angewendet wird, der die vom Sendesystem verwendete mittlere Leistung berücksichtigt;

- die „*Coverage and Capacity Layer*“ (Abdeckungs- und Kapazitätsschicht), zwischen 1 GHz und 6 GHz, ist eine der wichtigsten Neuerungen bei 5G. Sie nutzt das „Massive-MIMO-System“, um einen optimalen Kompromiss zwischen Abdeckung und Kapazität, d. h. der Geschwindigkeit der Datenübertragung pro Frequenzeinheit, zu gewährleisten. Sie umfasst das Band-C-Spektrum mit ca. 3,5 GHz. Dieses Nicht-Millimeter-Frequenzband arbeitet im Beamforming-Modus, um den größten Teil der abgestrahlten Leistung auf das Zielendgerät zu konzentrieren;

- die „*Super Data Layer*“ von 6 GHz bis zu MMW-Frequenzen von 30 GHz und darüber bietet die Bandbreite und die Datengeschwindigkeiten, die für den leistungsstärksten Funksektor der Internationalen Fernmeldeunion – Sektor für Radiokommunikation (ITU-R) des International Mobile Telecommunications (IMT)-2020-Standards erforderlich sind. Dieses Frequenzband verwendet ebenfalls die Beamforming-Technik.

Die wichtigsten Frequenzbänder für 5G-Standards, die weltweit genutzt werden: Die 5G-Technologie wird nicht nur auf die Kommunikation zwischen Menschen ausgerichtet sein, sondern auch auf vernetzte

automatisierte Systeme (Internet der Dinge), die elektromagnetische Wellen auf einer Frequenz im Bereich von 26,5–27,5 GHz nutzen. Die Frequenz dieser elektromagnetischen Wellen ist so hoch, dass sie keine Gebäude durchdringen oder Hindernisse überwinden können. Um dieses Problem zu „lösen“, müssen viele kleine Zellen mit einer Größe von etwa 10 Metern (in Gebäuden) bis zu mehreren hundert Metern (im Freien) installiert werden, die eine wesentlich geringere Reichweite haben als die Makrozellen früherer Technologien, die sich über mehrere Kilometer erstrecken können. In Europa lässt sich die allgemeine Lage wie in den Abbildungen 4, 5 und 6 dargestellt zusammenfassen (Quelle: Qualcomm, 2020).

Abbildung 4 – Status des 5G-Spektrums nach Dashboard und Auktionen in Europa

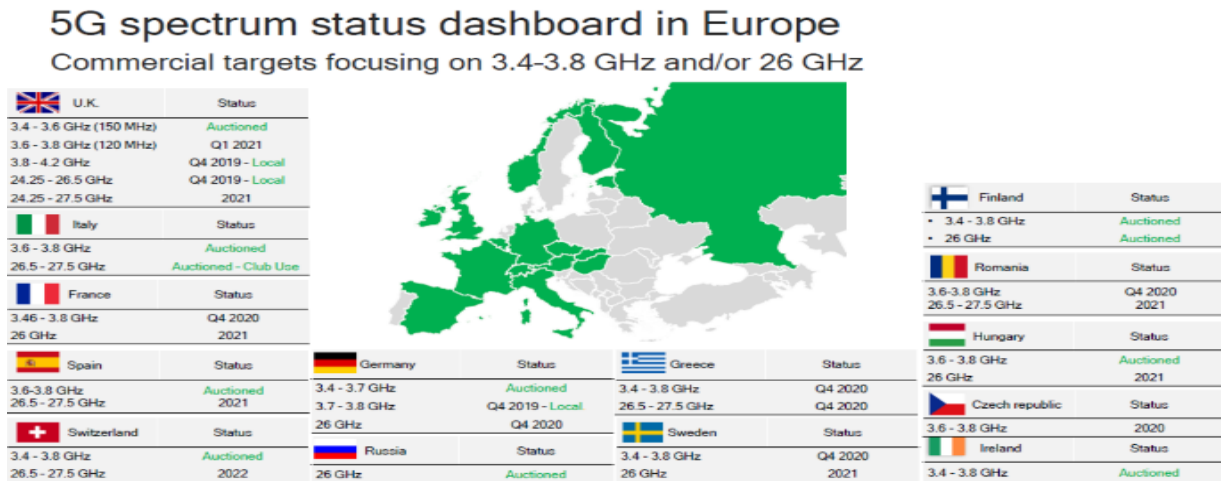


Abbildung 5 – Status des 5G-Spektrums nach Auktionen in Europa (FR1: 700 MHz)





Abbildung 6 – Status des 5G-Spektrums nach Auktionen in Europa (FR1: 3,4–3,8 GHz)



Nasim und Kim (2017) simulieren das mögliche Szenarium der Exposition gegenüber HF nach Einführung von 5G mittels Beamforming-Technologie. Die Autoren sind der Ansicht, dass bei den MMW-Frequenzen, bei denen künftige mobile Telekommunikationssysteme höchstwahrscheinlich arbeiten werden, zwei Veränderungen wahrscheinlich sind, die Anlass zu größeren Bedenken hinsichtlich der Exposition der menschlichen Nutzer gegenüber HF-Feldern geben können. Erstens werden größere Anzahlen von Sendern arbeiten. Aufgrund der Verbreitung kleiner Zellen werden mehr Basisstationen (BS) aufgestellt (Rappaport et al., 2013; Agiwal, 2016; Al-Saadeh, 2017) und entsprechend mehr Mobilgeräte genutzt. Dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass der Mensch HF-Feldern ausgesetzt ist. Zweitens werden schmalere Strahlen als Lösung für die höhere Abschwächung in höheren Frequenzbändern verwendet (Shakib, 2016; Zhang et al., 2017; Akdeniz et al., 2014). Sehr kurze Wellenlängen von MMW-Signalen in Verbindung mit Fortschritten bei HF-Schaltungen ermöglichen eine sehr große Anzahl von miniaturisierten Antennen. Mit diesen Mehrfachantennensystemen sind sehr hohe Verstärkungen möglich. Die Autoren erklären, dass ihr Papier durch die Tatsache motiviert ist, dass frühere Arbeiten sich nicht ausreichend mit einem solchen potenziellen Anstieg des Risikos befasst haben. In ihren Schlussfolgerungen äußern sich die Autoren wie folgt:

*„Dieses Papier hat die Bedeutung der menschlichen Exposition gegenüber HF bei der Übertragung vom Telekommunikationsnetz zum Endgerät (Downlink) eines Mobilfunk-Kommunikationssystems hervorgehoben. In diesem Papier wurden die Expositionswerte hinsichtlich PD und SAR gemessen und mit den Werten verglichen, die in der Version 9, die für die aktuelle Mobilfunktechnologie repräsentativ ist, berechnet wurden. Im Gegensatz zu früheren Arbeiten, die nur Übertragungen von mobilen Endgeräten zum Telekommunikationsnetz (Uplinks) untersuchten, wurde in diesem Papier festgestellt, dass auch die Downlinks eines 5G-Systems im Vergleich zu Version 9 [dem derzeitigen Expositionsszenario] deutlich höhere PD- und SAR-Werte aufweisen. Unsere Ergebnisse betonen, dass der Anstieg von zwei technischen Veränderungen herrührt, die bei 5G wahrscheinlich auftreten werden: (i) mehr Zugangspunkte (Access Points, AP) aufgrund des Einsatzes kleinerer Zellen und (ii) höher konzentrierte HF-Energie pro Downlink-HF-Strahl aufgrund der Verwendung größerer phasengesteuerter Gruppenantennen (Phased Arrays). Im Gegensatz zu früheren Arbeiten wird somit in diesem Papier behauptet, dass HF-Felder, die in 5G-Downlinks erzeugt werden, trotz Fernfeldausbreitung ebenfalls gefährlich sein können. Daher fordern die Autoren die Entwicklung von zellularen Kommunikations- und Vernetzungssystemen, die einen AP dazu zwingen, die Erzeugung von HF-Feldern zu vermeiden, wenn er in einem Winkel auf einen menschlichen Nutzer gerichtet ist, in dem gefährliche PD- und SAR-Werte erzeugt werden. Zu diesem Zweck wird in dem Papier als künftige Aufgabe die Entwicklung von Techniken genannt, die die Exposition des Menschen gegenüber HF-Feldern in 5G-Downlinks reduzieren“ (Imtiaz und Seungmo, 2017).*

Es gilt anzumerken, dass sich dieses Papier (Imtiaz und Seungmo, 2017) nur auf die 5G-Frequenz von 28 GHz bezieht, eine der Pionierfrequenzen, mit der Simulation von nur einem angeschlossenen Nutzergerät, welches das gesamte Frequenzband unter statischen und stationären Bedingungen nutzt.

Ein weiteres Papier (Baracca et al., 2018) der Nokia-Gruppe schlägt unter Berücksichtigung von Massive-MIMO-Basisstationen (BS) einen statistischen Ansatz zur Beurteilung der HF-Expositionsbedingungen um Massive-MIMO-BS auf der Grundlage des vom Third Generation Partnership Project (3GPP) entwickelten räumlichen 3D-Kanalmodells vor und evaluiert, wie die Leistung in einem praktischen System fokussiert wird, wenn realistische Annahmen hinsichtlich der Verteilung der Teilnehmergeräte (UE) und Datenverkehrsmodelle berücksichtigt werden. Die Methodik besteht in der Durchführung von Systemsimulationen, die realistische Einsatzszenarien in Bezug auf Installationshöhe, Teilnehmergerät, Geräteverteilung und Datenverkehr berücksichtigen, um die kumulative Verteilungsfunktion (CDF) der tatsächlichen BS-Übertragungsleistung zu bewerten. *„Der vorgeschlagene statistische Ansatz trägt dazu bei, die bereits von der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC, 2017) definierten Berechnungsmethoden zu verbessern und den Einsatz von Massive-MIMO-BSs für 5G und darüber hinausgehende Mobilfunknetze zu unterstützen.“* Abschließend heben die Autoren Folgendes hervor: *„Alle statistischen Ansätze, einschließlich unseres eigenen, basieren zwar auf realistischen Annahmen, erfordern aber dennoch ergänzende Techniken, die beispielsweise auf Leistungssteuerung und Anpassung mittels Beamforming basieren (Sambo et al., 2015), um sicherzustellen, dass die EMF-Beschränkungen bei den BS für alle möglichen tatsächlich umgesetzten Konfigurationen erfüllt werden“.*

In Bezug auf die Expositionsbewertung haben Neufeld und Kuster (2018) in einem Artikel in der Zeitschrift Health Physics eine Warnung ausgesprochen und dringend nahegelegt, dass die bestehenden Expositionsstandards mit kürzeren Mittelungszeiten überarbeitet werden, um mögliche thermische Schäden durch kurze und starke Pulse zu berücksichtigen: *„Extrem breitbandige drahtlose Geräte, die oberhalb von 10 GHz arbeiten, können Daten in kurzen Pulsen (Bursts) von wenigen Millisekunden bis Sekunden übertragen. Selbst wenn die zeit- und flächengemittelten Werte der Leistungsdichte innerhalb der akzeptablen Sicherheitsgrenzen für eine Dauerexposition liegen, können diese Bursts mitunter zu kurzen Temperaturspitzen auf der Haut der exponierten Personen führen. ... [Unsere] Ergebnisse zeigen ferner, dass das von den ICNIRP-Richtlinien tolerierte Verhältnis von Spitzenwert zu Mittelwert von 1 000 schon nach kurzen Expositionen zu dauerhaften Gewebeschäden führen kann, was unterstreicht, wie wichtig es ist, die bestehenden Expositionsrichtlinien nochmals zu überdenken“* (Neufeld und Kuster, 2018).

Kenneth Foster der University of Pennsylvania setzte dem entgegen, dass ihre Behauptungen nicht haltbar seien: *„Da die in der Praxis eingesetzten Kommunikationstechnologien Pulse mit deutlich geringerer Fluenz als die von Neufeld und Kuster betrachteten extremen Pulse erzeugen, werden die daraus resultierenden thermischen Transienten in jedem Fall sehr klein sein“* (Foster, 2019).

Das Istituto Superiore di Sanità (italienisches nationales Gesundheitsinstitut) stellt im ISTISAN-Bericht 2019 (nur auf Italienisch verfügbar) Folgendes fest (Übersetzung durch den Autor): *„(...) Auf der Grundlage der technischen Merkmale von [5G]-Basisstationen sollte zur korrekten Überwachung der Exposition der Mittelwert der Messungen elektromagnetischer Felder nicht allein, sondern zusammen mit den für kurze Expositionszeiträume erreichten Höchstwerten betrachtet werden. Dieser Aspekt erfordert eine Aktualisierung des nationalen Gesetzes, das bisher keine Kurzzeitexposition, sondern nur eine Dauerexposition als Mittelwerte innerhalb von 6 Minuten [20 V/m, gelegentliche Exposition] oder 24 Stunden [6 V/m, Exposition im Wohnbereich/am Arbeitsplatz für mehr als 4 Stunden/Tag] berücksichtigt hat“* (ISTISAN 19/11, 2019).

Die Unsicherheiten bei der Expositionsbewertung sind nach wie vor nicht ausgeräumt. Die vorstehend genannten Papiere zeigen, dass sich die Frage der Expositionsbewertung bei der Einführung von 5G kompliziert gestaltet, vor allem in Bezug auf die Überwachung der kontinuierlichen Veränderungen der Aktivität sowohl der Basisstationen (BS) als auch der Nutzer (UE) im Zusammenhang mit der MIMO-Technologie, während die technische Position zur Exposition im neuen Szenario in Bezug auf 2G-, 3G-, 4G- und 5G-Aussendungen noch formuliert wird und daher unsicher ist. Die Expositionsbewertung ist ein zentrales Diskussionsthema, bevor die MMW- und MIMO-Technologie auf der ganzen Welt flächendeckend eingesetzt wird.

## 1.3 Übersicht der politischen Maßnahmen international und in Europa

### 1.3.1 Internationale Organisationen

Das Internationale Krebsforschungszentrum (Baan et al., 2011; IARC, 2013) stufte HF-EMF als „*möglicherweise krebserregend für den Menschen*“ (Gruppe 2B) ein.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat kürzlich ihren Aufruf zur Interessenbekundung für systematische Überprüfungen (2020) erneuert. Die WHO führt eine Bewertung des Gesundheitsrisikos von HF-EMF durch, die als Monographie in der Reihe Environmental Health Criteria Series veröffentlicht werden soll. Diese Publikation wird die Monographien über statische Felder (2006) und extrem niederfrequente Felder (2007) ergänzen und die 1993 veröffentlichte Monographie über HF-Felder (WHO, 1993) aktualisieren.

Die Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) veröffentlichte im März 2020 neue Richtlinien für mehrere neue Technologien, darunter 5G (ICNIRP, 2020a). Mit den neuen Richtlinien werden neue und überarbeitete Beschränkungen für 5G eingeführt. Auf der ICNIRP-Website finden sich ausführliche Informationen über die neuen Richtlinien und die Unterschiede zwischen den Richtlinien von 1998 und 2020. Die Richtlinien beziehen sich nur auf thermische Effekte, die durch eine 6- und 30-minütige Exposition gegenüber HF-EMF verursacht werden, d. h. die Richtlinien betreffen nur die kurzfristige Exposition. Es wurden Sicherheitsrichtlinien für die derzeit eingesetzte 5G-Technologie eingeführt, obwohl noch keine ausreichenden wissenschaftlichen Untersuchungen durchgeführt wurden, während die bereits verwendeten und von Fachleuten überprüften wissenschaftlichen Daten zu den nichtthermischen Effekten von HF nicht in allen ICNIRP-Richtlinien evaluiert wurden (ICNIRP, 2020c).

### 1.3.2 Europäische Organisationen und Regierungen (nach Jahr)

In der Resolution 1815 des Europarates wird Folgendes hervorgehoben: *„Die Unabhängigkeit und Glaubwürdigkeit der eingesetzten wissenschaftlichen Sachkenntnis ist entscheidend für eine transparente und ausgewogene Bewertung möglicher negativer Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt. In der Resolution wird empfohlen: alle angemessenen Maßnahmen zur Verringerung der Exposition gegenüber EMF (insbesondere durch Mobiltelefone) und insbesondere zum Schutz von Kindern und Jugendlichen zu ergreifen, bei denen das Risiko der Entwicklung von Tumoren im Kopfbereich am größten zu sein scheint; die wissenschaftliche Grundlage für die derzeitigen Normen für die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die von der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung festgelegt wurden und erhebliche Einschränkungen aufweisen, erneut zu überprüfen; Informationen und Sensibilisierungskampagnen über die Risiken potenziell schädlicher langfristiger biologischer Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit, insbesondere für Kinder, Jugendliche und junge Menschen im reproduktiven Alter, zu verteilen und zu verbreiten; kabelgebundenen Internetverbindungen (für Kinder im Allgemeinen und insbesondere in Schulen) Priorität einzuräumen und die der Benutzung von Mobiltelefonen durch Schüler auf dem Schulgelände streng zu regeln; die öffentlichen Mittel für unabhängige Forschung zur Bewertung von Gesundheitsrisiken aufzustocken.“* (Versammlung des Europäischen Parlaments, 2011)

Im Jahr 2013 sprach die Französische Behörde für Lebensmittelsicherheit, Umweltschutz und Arbeitsschutz *„(...) gibt Empfehlungen zur Begrenzung der Exposition gegenüber Funkfrequenzen heraus; begrenzte Evidenz deutet auf verschiedene biologische Auswirkungen bei Mensch oder Tier hin. Darüber hinaus deuten einige Publikationen auf ein möglicherweise erhöhtes Langzeitrisiko für Hirntumoren bei Intensivnutzern von Mobiltelefonen hin. In Anbetracht dieser Informationen und vor dem Hintergrund der rasanten Entwicklung von Technologien und Praktiken empfiehlt die ANSES, die Exposition der Bevölkerung gegenüber hochfrequenter Strahlung – insbesondere durch Mobiltelefone – vor allem für Kinder und Intensivnutzer zu begrenzen und die Gesamtexposition, die von Relaisantennen herrührt, zu kontrollieren. Darüber hinaus wird sie ihre Arbeiten zu elektrosensiblen Personen weiter ausarbeiten, indem sie insbesondere alle verfügbaren französischen und internationalen Daten zu diesem Thema untersucht, die eine genauere Betrachtung verdienen. Daher empfiehlt die Agentur Folgendes zur Begrenzung der Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung, insbesondere in den am meisten gefährdeten Bevölkerungsgruppen: für erwachsene*



*Intensivnutzer von Mobiltelefonen (im Gesprächsmodus) die Verwendung von Freisprecheinrichtungen und allgemeiner für alle Nutzer die Bevorzugung des Kaufs von Telefonen mit den niedrigsten SAR-Werten]; die Verringerung der Exposition von Kindern durch die Förderung einer nur mäßigen Nutzung von Mobiltelefonen; weitere Verbesserung der Beschreibung der Exposition der Bevölkerung in Außen- und Innenräumen durch Messkampagnen; dass die Entwicklung neuer Mobilfunknetzinfrastrukturen zuvor Studien zur Beschreibung der Exposition unterzogen wird und dass eine eingehende Untersuchung über die Folgen einer möglichen Vervielfachung der Zahl der Relaisantennen durchgeführt wird, um die Umweltextposition zu verringern; die Dokumentation der Bedingungen in den bestehenden Installationen, die die höchste Exposition der Bevölkerung verursachen, und die Untersuchung, inwieweit diese Expositionen durch technische Mittel verringert werden können; dass bei allen gängigen Geräten, die elektromagnetische Felder aussenden und für die Verwendung in Körpernähe bestimmt sind (DECT-Telefone, Tablet-Computer, Babyphone usw.), der Höchstwert der erzeugten Exposition (z. B. SAR) angegeben wird, wie dies bei Mobiltelefonen bereits der Fall ist; und um schließlich die verschiedenen Unsicherheiten zu beseitigen, die sie bei der Durchführung dieser Arbeiten festgestellt hat, und zusätzlich zu den Forschungsprojekten, die bereits im Rahmen des Nationalen Plans für Forschung im Bereich Umwelt und Gesundheit am Arbeitsplatz durchgeführt werden, spricht die Behörde eine Reihe von Forschungsempfehlungen aus“ (ANSES, 2013).*

Der Wissenschaftliche Ausschuss „Neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken“ (SCENIHR) der Europäischen Kommission wurde beauftragt, die Risiken von EMF zu bewerten, und überprüft regelmäßig die verfügbare wissenschaftliche Evidenz, um zu beurteilen, ob er die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates vorgeschlagenen Expositionsgrenzwerte noch unterstützt. Der letzten Stellungnahme des SCENIHR vom Januar 2015 zufolge gibt es keine Belege dafür, dass EMF-Strahlung die kognitiven Funktionen des Menschen beeinträchtigt oder zu einer Zunahme der Krebsfälle bei Erwachsenen und Kindern beiträgt (SCENIHR, 2015). Allerdings wies die International EMF Alliance (IEMFA) darauf hin, dass bei vielen Mitgliedern des SCENIHR ein Interessenkonflikt bestanden haben könnte, weil sie berufliche Beziehungen zu verschiedenen Telekommunikationsunternehmen pflegten oder von diesen Finanzierungen erhalten hatten.

Folglich hat der wissenschaftliche Ausschuss „Gesundheitsrisiken, Umweltrisiken und neu auftretende Risiken“ (SCHEER), der den früheren SCENIHR ersetzt, in einer Erklärung im Dezember 2018 die Bedeutung von 5G vorläufig als hoch eingeschätzt. Auch das Ausmaß, die Dringlichkeit und die Wechselwirkungen (mit Ökosystemen und Arten) einer möglichen Gefährdung wurden vom SCHEER als hoch bewertet. Nach seiner Einschätzung könnte eine 5G-Umgebung biologische Folgen haben, da nicht genug „Fakten vorlägen, auf deren Grundlage zweckmäßige Expositionsrichtlinien für die 5G-Technologie entwickelt werden könnten.“ (SCHEER, 2018).

In einer Lagebesprechung vom Juni 2017 erklärte der Wissenschaftliche Dienst des Europäischen Parlaments: „Schließlich wurden die gesundheitlichen Auswirkungen von 5G nur wenig erforscht, da sich die meisten der bisherigen Studien auf die vorherige Generation der Mobilfunktechnologie beziehen. Einer aktuellen Studie zufolge könnte sich dies als weiterer Engpass erweisen, falls 5G aufgrund der Konzentration in den Städten und der dichten zellularen Struktur, der Verwendung viel höherer Mikrowellenfrequenzen und der stark directionalen Konzentration Gesundheitsrisiken mit sich bringen sollte“. In den USA gab eine von der Regierung finanzierte Studie aus dem Jahr 2016 Anlass zur Besorgnis, da sie in ihren vorläufigen Ergebnissen bei Ratten, die drahtloser Strahlung ausgesetzt waren, eine signifikant höhere Inzidenz seltener Tumoren des Gehirns und des Herzens feststellte. Andere Untersuchungen und Publikationen aus dem Jahr 2017 deuten ebenfalls darauf hin, dass die langfristige Nutzung von Mobiltelefonen das Risiko für Krebserkrankungen des Gehirns erhöhen könnte. Das jüngste Gutachten der Expertengruppe der Kommission aus dem Jahr 2015 und Untersuchungen der Weltgesundheitsorganisation lassen jedoch keinen direkten Zusammenhang erkennen. In Frankreich kam man indes in einer Untersuchung über drahtlose Strahlung zu dem Schluss, dass alle drahtlosen Geräte auf ihre Auswirkungen auf die Gesundheit von Kindern untersucht werden müssen, und empfiehlt, dass Kinder sie nur in Maßen und unter Aufsicht benutzen sollten. Dieses komplexe Thema bleibt daher umstritten, während weitere Untersuchungen im Gange sind“ (EPRS, 2017).

In einem neueren EPRS-Dokument heißt es dazu: *„Die aktuelle wissenschaftliche Literatur zeigt, dass dauerhaft einwirkende drahtlose Strahlung wahrscheinlich biologische Auswirkungen hat, was für die speziellen Merkmale von 5G in besonderer Weise zutrifft: die Kombination aus Millimeterwellen, einer höheren Frequenz, der Anzahl der Sender und der Anzahl der Verbindungen. Verschiedene Studien deuten darauf hin, dass 5G die Gesundheit von Menschen, Pflanzen, Tieren, Insekten und Mikroben beeinträchtigen würde – und dass bei 5G ein vorsichtiger Ansatz angebracht wäre, da es sich um eine nicht getestete Technologie handelt (EPRS, 2020).*

Das deutsche Bundesamt für Strahlenschutz veröffentlichte einen Bericht, in dem Folgendes angegeben ist: *„In einigen Jahren werden durch 5G höhere Frequenzen dazukommen, deren Wirkungen noch nicht so gut erforscht sind. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) rät zu einem umsichtigen Ausbau von 5G und wird die Wirkung der neuen Frequenzbereiche weiter erforschen“ (FORPG, 2019).*

Im Jahr 2020 veröffentlichte der wissenschaftliche EMF-Rat des schwedischen Amtes für Strahlenschutz (SSM) seinen 14. Bericht. Es handelt sich hierbei um einen Konsensbericht, was bedeutet, dass alle Mitglieder des wissenschaftlichen Rates dem Bericht in vollem Umfang zustimmen. Obwohl bisher keine Gesundheitsrisiken durch schwache EMF festgestellt wurden, ist die Behörde der folgenden Ansicht: *„Es ist wichtig, dass weitere Forschung durchgeführt wird, insbesondere im Hinblick auf die langfristigen Auswirkungen, da die gesamte Bevölkerung exponiert ist. Ein zentraler Punkt ist dabei, den in Tierversuchen beobachteten Zusammenhang zwischen Exposition gegenüber Funkwellen und oxidativem Stress weiter zu untersuchen und festzustellen, ob und in welchem Ausmaß er sich auf die menschliche Gesundheit auswirken kann. Des Weiteren müssen die beobachtete verringerte Spermienzahl, die Lebensfähigkeit der Spermien und das verringerte Serumtestosteron aufgrund von Exposition der Hoden gegenüber Funkwellen in Tierstudien weiter untersucht werden, bevor irgendwelche Schlussfolgerungen bezüglich der möglichen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit gezogen werden können“ (SSM, 2020).*

Das Austrian Institute of Technology äußert sich hierzu wie folgt: *„1) Elektromagnetische Strahlung wurde schon bei bisherigen Mobilfunk-Generationen als potentielles Risiko betrachtet. Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) stuft seit 2011 Mobilfunkstrahlung als „möglicherweise krebserregend“ ein. Bis heute wird dieses Thema von Experten kontrovers diskutiert. 2) 5G, die neueste Generation von Mobilfunknetzen, verspricht die Übertragung größerer Datenmengen mit geringerer Latenz. Industrie 4.0, Augmented-Reality-Spiele oder das Internet der Dinge sind auf diese höhere Leistung angewiesen. 3) Die Bewertung von Risiken und Wissenslücken ermöglicht eine vorsorgliche Regulierung und einen vorsichtigen Umgang mit 5G“ (Kastenhofer, 2020).*

Der Gesundheitsrat der Niederlande veröffentlichte im September 2020 sein Gutachten zu 5G und Gesundheit. Nachstehend eine Auswahl von Auszügen aus dem Bericht: *„Der Ausbau der 5G-Netze hat gerade erst begonnen. Daher gibt es noch keine Studien über die gesundheitlichen Auswirkungen einer (langfristigen) Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern mit den für 5G reservierten Frequenzen“ ... „Nach Ansicht des Ausschusses ist nicht auszuschließen, dass die Inzidenz von Krebserkrankungen, verminderter männlicher Fertilität, schlechten Schwangerschaftsausgängen und Geburtsfehlern mit der Exposition gegenüber elektromagnetischen HF-Feldern in Verbindung gebracht werden könnte. Der Ausschuss hält den Zusammenhang zwischen der Exposition und diesen und anderen Erkrankungen oder Leiden jedoch weder für erwiesen noch für wahrscheinlich“ ... „Die Auswirkungen der Exposition gegenüber Frequenzen im Bereich von 26 GHz sind bisher kaum erforscht worden“; ... „Der Ausschuss empfiehlt, das 26-GHz-Frequenzband für 5G erst zu nutzen, wenn die möglichen Gesundheitsrisiken untersucht wurden“ ... „Die Ausschuss empfiehlt, die neuesten Richtlinien der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) als Grundlage für die Expositionspolitik in den Niederlanden zu verwenden. Da nicht ausgeschlossen werden kann, dass auch die Exposition nach den neuesten ICNIRP-Standards gesundheitliche Auswirkungen haben kann, empfiehlt der Ausschuss, einen vorsichtigen Ansatz zu wählen und die Exposition so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar zu halten“. In diesem Bericht wird über häufige schädliche Wirkungen der HF-Exposition berichtet, aber als Schlussfolgerung empfiehlt der Ausschuss nur einen vorsichtigen Ansatz (Health Council of the Netherlands [Gesundheitsrat der Niederlande], 2020).*

In der Schweiz ist das Bundesamt für Umwelt (BAFU) die staatliche Behörde, die für die Überwachung und Bewertung der Forschung über gesundheitliche Auswirkungen von NIS aus stationären Quellen in der Umwelt zuständig ist. Dazu gehört auch, die Öffentlichkeit über den aktuellen Stand der Forschung, der die Grundlage für die in der Schweizer „Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NIS)“ festgelegten Grenzwerte bildet, zu informieren und auf dem Laufenden zu halten. Bei Vorliegen belastbarer neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und Erfahrungen würde das BAFU dem Schweizer Bundesrat empfehlen, diese Grenzwerte anzupassen. Das BAFU hat deshalb eine beratende Gruppe von Schweizer Experten aus verschiedenen Fachgebieten mit wissenschaftlicher Kompetenz im Bereich EMF und NIS eingesetzt, die im Juli 2014 ihre Arbeit aufgenommen hat. Die Gruppe trägt den Namen BERENIS, der auf der Abkürzung für „Beratende Expertengruppe NIS“ beruht. Die BERENIS-Experten sichten regelmäßig die wissenschaftliche Literatur und bewerten die Veröffentlichungen, die sie für den Schutz des Menschen vor potenziell schädlichen Wirkungen für relevant erachten. Im Rahmen der Arbeit von BERENIS wird die nichtionisierende Strahlung (NIS) bei Frequenzen unter 10 GHz untersucht.

In der Sonderausgabe des BERENIS-Newsletters (BERENIS, 2021) wird eine aktuelle Bewertung einer möglichen Korrelation zwischen oxidativem Stress und der Exposition gegenüber EMF und deren vermuteten Auswirkungen auf die Gesundheit vorgestellt. Zu diesem Zweck wurden relevante Tier- und Zellstudien, die zwischen 2010 und 2020 veröffentlicht wurden, ermittelt und zusammengefasst. Ein erweiterter Bericht, der diese neuen Studien ausführlicher vorstellt, wird demnächst vom BAFU 1 veröffentlicht werden (liegt zum Zeitpunkt dieses Berichts noch nicht vor). Der Newsletter enthält eine Kurzfassung des Berichts, in der Folgendes erläutert wird: *„[...] dass die Mehrzahl der Tierstudien und mehr als die Hälfte der Zellstudien Hinweise auf vermehrten oxidativen Stress durch HF-EMF [...] gibt. Dies beruht auf Beobachtungen bei einer Vielzahl von Zelltypen, Expositionszeiten und Dosierungen (SAR oder Feldstärken), auch im Bereich der Anlagegrenzwerte.“* Diese Überprüfung der Literatur belegt, dass einer der Mechanismen, die den schädlichen Auswirkungen von HF-EMF zugrunde liegen, oxidativer Stress ist, der freie Radikale bildet, welche wiederum eine Reihe verschiedener Funktionen beeinträchtigen (Yakymenko, 2016).

## 1.4 Nicht in dieser Überprüfung analysierte biologische Wirkungen (sowohl FR1 als auch FR2)

Die vorliegende Überprüfung befasst sich ausschließlich mit der Karzinogenität und den schädlichen Wirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung im Zusammenhang mit HF-Exposition, die in seit 1945 veröffentlichten epidemiologischen Studien und Tierversuchen im Labor beobachtet wurden. Um die Auswirkungen von HF auf die menschliche Gesundheit besser zu verstehen, dürfen wir jedoch nicht die Tatsache ignorieren, dass auch andere biologische, nichtthermische Effekte berichtet wurden. Man muss nur auf die überwiegende Zahl der zwischen 1990 und 2020 veröffentlichten Forschungsergebnisse hinweisen, die verschiedene signifikante Auswirkungen der Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung festgestellt haben. Insgesamt haben 75 % (n = 711) von 944 analysierten Studien zu hochfrequenter Strahlung über biologische Auswirkungen berichtet (Moskowitz, 2018).

So stellte das National Toxicology Program (NTP) fest, dass die Exposition gegenüber HF-EMF mit einer Zunahme von DNA-Schäden verbunden ist. Konkret fand man heraus, dass die HF-EMF-Exposition mit einer signifikanten Zunahme von DNA-Schäden im frontalen Kortex des Gehirns bei männlichen Mäusen, in den Blutzellen bei weiblichen Mäusen und im Hippocampus bei männlichen Ratten verbunden war. Zahlreiche Faktoren beeinflussen, ob geschädigte DNA zur Entstehung von Tumoren führt. Das NTP plant die Durchführung weiterer Studien, um mehr darüber zu erfahren, wie HF-EMF DNA-Schäden verursachen können (Smith-Roe et al., 2019). In den NTP-Studien wurden weitere schädliche Wirkungen beobachtet, darunter ein verringertes Geburtsgewicht, DNA-Strangbrüche in Gehirnzellen, was die Krebsbefunde unterstützt (Yakymenko, 2015), ein erhöhtes Auftreten von proliferativen Läsionen (Hyperplasie) und ein expositionsbedingter Anstieg des Auftretens von Kardiomyopathie der rechten Herzkammer bei männlichen und weiblichen Ratten (NTP, 2018).

MMW, die in den oben genannten Studien nur selten berücksichtigt wurden, haben spezifische Merkmale. MMW werden hauptsächlich in einer Tiefe von 1 bis 2 Millimetern der menschlichen Haut und in den Oberflächenschichten der Hornhaut absorbiert. Daher sind die Haut oder oberflächennahe Gewebereiche die primären Ziele solcher Strahlung. Da die Haut Kapillaren und Nervenenden enthält, können die biologischen Wirkungen von MMW durch molekulare Mechanismen von der Haut oder über das Nervensystem übertragen werden. Thermische (oder Wärme-)Effekte treten auf, wenn die Leistungsdichte der Wellen über 5–10 mW/cm<sup>2</sup> liegt (Foster, 1998).

Solche hochintensiven MMW wirken dosisabhängig auf die menschliche Haut und die Hornhaut – zunächst mit einem Wärmegefühl, gefolgt von Schmerzen und physischen Schäden bei höherer Exposition. Ein Anstieg der Temperatur hat Auswirkungen auf das Wachstum, die Morphologie und den Stoffwechsel von Zellen, führt zur Entstehung von freien Radikalen und schädigt die DNA. Eine längere Exposition gegenüber MMW niedriger Intensität wurde bisher in nur wenigen Studien untersucht, und es gibt keine Forschungsarbeiten, die sich auf die Exposition gegenüber MMW in Kombination mit anderen HF-Strahlen konzentriert haben. Einige Studien berichteten, dass die Strahlung die Progression des Zellzyklus hemmt, andere Studien wiederum berichteten über keine biologischen Auswirkungen (Le Drian et al., 2013).

(Ramundo-Orlando, 2010) stellte Folgendes fest: *„Zahlreiche Zellstudien haben gezeigt, dass MMW die strukturellen und funktionellen Eigenschaften von Membranen verändern können“*. Die Exposition gegenüber MMW kann die Plasmamembran entweder durch eine Veränderung der Ionenkanalaktivität oder durch eine Veränderung der Phospholipiddoppelschicht beeinflussen. Wassermoleküle scheinen bei diesen Wirkungen ebenfalls eine Rolle zu spielen. Die Nervenenden der Haut sind ein wahrscheinliches Ziel von MMW und der mögliche Ausgangspunkt zahlreicher biologischer Wirkungen. MMW können das Immunsystem durch Stimulation des peripheren Nervensystems aktivieren (Ramundo-Orlando, 2010).

1998 veröffentlichten von Forschungsinstituten der US-Armee angestellte Wissenschaftler einen bahnbrechenden Überblick über die Forschung zu MMW. Dabei gaben sie Folgendes an: *„Möglicherweise existiert eine erhöhte Empfindlichkeit und sogar eine Überempfindlichkeit einzelner Probanden gegenüber MMW tatsächlich. Je nach den Expositionsmerkmalen, insbesondere der Wellenlänge, wurde eine MMW-Strahlung geringer Intensität von 8 bis 30 % der gesunden Probanden wahrgenommen (Lebedeva, 1993, 1995). In einigen klinischen Studien wurde über eine Überempfindlichkeit gegen MMW berichtet, die auf eine bestimmte Wellenlänge beschränkt war oder auch nicht (Golovacheva, 1995). Es gilt außerdem zu beachten, dass die biologischen Auswirkungen einer längeren oder chronischen MMW-Exposition des gesamten Körpers oder eines großen Körperbereichs noch nie untersucht worden sind. Die Sicherheitsgrenzwerte für diese Arten von Expositionen basieren ausschließlich auf Vorhersagen des Energieeintrags und der MMW-Erwärmung, aber angesichts neuerer Studien ist dieser Ansatz nicht unbedingt angemessen“* (Pakhomov et al., 1998).

1977 veröffentlichte Zalyubovskaya eine Studie, in der die Auswirkungen der Exposition von Mäusen gegenüber Millimeterstrahlung (37–60 GHz; 1 Milliwatt pro Quadratzentimeter) für 15 Minuten täglich über einen Zeitraum von 60 Tagen untersucht wurden. Die Ergebnisse aus den Tierversuchen wurden mit einer Stichprobe von Personen verglichen, die mit Generatoren von Millimeterwellen arbeiteten. Die Zusammenfassung des Papiers lautet wie folgt: *„Morphologische, funktionelle und biochemische Untersuchungen an Menschen und Tieren ergaben, dass Millimeterwellen Veränderungen im Körper hervorrufen, die sich in strukturellen Veränderungen der Haut und der inneren Organe, in qualitativen und quantitativen Veränderungen der Zusammensetzung von Blut und Knochenmark sowie in Veränderungen der konditionierten Reflexaktivität, der Gewebeatmung und der Aktivität von Enzymen, die an den Prozessen der Gewebeatmung und des Nukleinstoffwechsels beteiligt sind, äußern. Wie stark die schädliche Wirkung der Millimeterwellen ausfällt, hängt von der Dauer der Strahleneinwirkung und den jeweiligen Merkmalen des Organismus ab“* (Zalyubovskaya, 1977).

Mikroben werden ebenfalls durch MMW-Strahlung beeinträchtigt. Im Jahr 2014 wurde ein Bericht über die Auswirkungen von MMW auf Bakterien veröffentlicht. Die Autoren fassen ihre Ergebnisse folgendermaßen zusammen: *„(...) Bakterien und andere Zellen könnten durch elektromagnetische Felder im subextremen hochfrequenten Bereich miteinander kommunizieren. Diese MMW wirkten sich auf Escherichia coli und viele*



*andere Bakterien aus, indem sie vor allem ihr Wachstum hemmten und ihre Eigenschaften und Aktivität veränderten. Diese Auswirkungen waren nicht thermisch und von verschiedenen Faktoren abhängig. Die Folgen der Wechselwirkung von MMW mit Bakterien sind die Veränderung ihrer Empfindlichkeit gegenüber verschiedenen biologisch aktiven Chemikalien, einschließlich Antibiotika. Diese Effekte sind von Bedeutung, wenn es darum geht, ein Verständnis für veränderte Stoffwechselwege zu gewinnen und die Rolle von Bakterien in der Umwelt zu unterscheiden; möglicherweise führen sie bei Bakterien zu Antibiotikaresistenz“ (Adebayo et al., 2014).*

*„Die Veränderung der Empfindlichkeit von Bakterien gegenüber Antibiotika durch Bestrahlung mit MMW kann für das Verständnis der Antibiotikaresistenz in der Umwelt von Bedeutung sein. Diesbezüglich ist es interessant, dass Bakterien, [die] in der Nähe von Telekommunikationsstationen überlebt haben, wie z. B. Bacillus und Clostridium spp., sich als multiresistent erwiesen haben“ (Soghomonyan et al., 2016).*

In einem kürzlich veröffentlichten Papier stellte man fest: *„Zusammengenommen kann die Bestrahlung von Wasser mit Mikrowellen [gepulst, 3,5 GHz, hohe Leistung] die Zellphysiologie deutlich verändern, während bestrahlte Medien und gepufferte Salzlösungen vernachlässigbare oder irrelevante Veränderungen hervorrufen, die die Zellgesundheit nicht beeinträchtigen“ (Bhartiya et al., 2021).*

Allerdings wissen wir, dass athermische biologische Reaktionen durchaus existieren. In der Tat werden einige Frequenzen in manchen medizinischen Fachgebieten bereits zu therapeutischen Zwecken eingesetzt, wie z. B. Nervenregeneration, Wundheilung, Transplantatverhalten, Diabetes sowie Myokard- und Hirnischämie (Herzinfarkt und Schlaganfall). Einige Studien legen sogar die Vermutung nahe, dass ein möglicher Nutzen bei der Bekämpfung bösartiger Erkrankungen besteht. Elektrische Wechselfelder mit geringer Intensität und Zwischenfrequenz (Felder zur Behandlung von Tumoren), die auf sich teilende Zellen im Glioblastoma multiforme (bösartiger Hirntumor) abzielen und normale Zellen im Allgemeinen nicht schädigen, werden zu Therapie Zwecken eingesetzt (Guo et al., 2011; Zimmerman et al., 2013; Alphandéry, 2018).

Da jedes Medikament auch unerwünschte Wirkungen haben kann, sollten bei der Risikobewertung auch nichtthermische unerwünschte Wirkungen von HF-EMF berücksichtigt werden. Zusammengefasst zeigt die von Fachleuten überprüfte (Peer-Reviewed) Forschung, dass eine kurzzeitige Exposition gegenüber MMW-Strahlung nicht nur menschliche Zellen beeinträchtigt, sondern auch möglicherweise zu einer veränderten Empfindlichkeit von für den Menschen schädlichen Bakterien und verschiedenen biologisch aktiven Chemikalien, einschließlich Antibiotika, führt.

Da die gesundheitlichen Folgen einer langfristigen Exposition gegenüber MMW nur wenig erforscht sind, stellt der flächendeckende Einsatz der 5G-Infrastruktur ein massives Experiment dar, das sich negativ auf die öffentliche Gesundheit auswirken kann. Leider wurde eine längere Exposition gegenüber MMW niedriger Intensität bisher in nur wenigen Studien untersucht, und es gibt unseres Wissens keine Forschungsarbeiten, die sich auf die Exposition gegenüber MMW in Kombination mit anderen HF-Strahlen konzentriert haben.

## 1.5 Soziale Konflikte im Zusammenhang mit 5G

Ein anderer Aspekt der Diskussion um 5G ist die soziale Polarisierung. Derzeit behaupten sowohl die Aktivisten der „Stop 5G“-Bewegung als auch die Befürworter von 5G, dass es Tausende von Studien über die gesundheitlichen Auswirkungen der in der drahtlosen Kommunikation verwendeten HF und den damit einhergehenden EMF gibt. Aktivisten behaupten, dass Studien viele verschiedene gesundheitsschädliche Auswirkungen zeigen, 5G-Befürworter vertreten die Auffassung, dass Studien keine negativen Auswirkungen auf die Gesundheit haben. Beide Seiten ziehen hierbei das EMF-Portal heran, eine spezielle Datenbank in Deutschland: *„Die Internet-Informationenplattform EMF-Portal der RWTH Aachen fasst wissenschaftliche Forschungsergebnisse zu den Wirkungen elektromagnetischer Felder (EMF) systematisch zusammen und stellt diese in englischer und deutscher Sprache zur Verfügung. Kernstück des EMF-Portals ist eine umfangreiche Literaturdatenbank mit einem Bestand von 32 119 Publikationen und 6 805 Zusammenfassungen einzelner wissenschaftlicher Studien zu den Wirkungen elektromagnetischer Felder“*

(Startseite des EMF-Portals). Die Zahl von 32 119 Veröffentlichungen (Stand: 20. Oktober 2020) umfasst die Untersuchungen aller Arten von biologischen und technischen Endpunkten zu allen von HF stammenden EMF. Die Sammlung von Studien zu 5G-MMW-Frequenzen ist jedoch dürftig (etwa 100) und betrifft größtenteils technische/dosimetrische Studien. Folglich gründen beide Behauptungen, also sowohl Vorhandensein als auch Nichtvorhandensein von schädlichen Wirkungen, bezüglich der Sicherheit von 5G-MMW auf Annahmen und nicht auf wissenschaftlicher Evidenz.

Das Thema der sozialen Konflikte wird von Leszczynski (2020) umfänglich aufgearbeitet. Ganz offensichtlich ist das Szenario, in dem 5G genutzt werden soll, auf der einen Seite von Unsicherheit, auf der anderen von Leugnung und auf einer weiteren Seite von übertriebenem Alarmismus geprägt.

## 2. Ziele der Studie und Methodik

In dieser Überprüfung soll der aktuelle Wissensstand zu nichtthermischen Effekten in Bezug auf die karzinogenen Risiken und die Risiken für Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung der von 5G genutzten HF-EMF bewertet werden, die im Rahmen von experimentellen In-vivo-Studien und epidemiologischen Studien ermittelt wurden, wobei die Frequenzen 700–3 600 MHz und 26 000 MHz getrennt betrachtet werden.

### 2.1 Hintergrund

Diese Überprüfung der derzeit verfügbaren wissenschaftlichen Evidenz konzentriert sich sowohl auf die karzinogenen Wirkungen als auch auf die Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung durch Hochfrequenzenergie von mobilen Telekommunikationssystemen, die 2G- bis 5G-Netze nutzen, und stützt sich dabei sowohl auf In-vivo-Tierstudien als auch auf epidemiologische Studien am Menschen.

Die ausgewerteten Studien müssen in 2 Gruppen unterteilt werden:

1) Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF im niedrigeren Frequenzbereich (FR) (FR1: 450 bis 6 000 MHz) untersuchen, was auch die Frequenzen einschließt, die in den vorhandenen 2. bis 4. Generationen des Breitband-Mobilfunknetzes genutzt werden. Die aktuelle Evidenz aus den Studien zu 1G bis 4G ist die derzeit beste verfügbar Evidenz. Die Studien wurden mithilfe narrativer Methoden ausgewertet.

2) Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF im höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz – MMW) untersuchen. Die höheren Frequenzen sind neu, wurden bisher nicht für die mobile Kommunikation verwendet und sind spezifisch für die neue 5G-Technologie, die besondere physikalische Eigenschaften und Wechselwirkungen mit biologischer Materie aufweist (geringere Durchdringung, höhere Energie usw.): Sie wurden separat betrachtet, wobei eine Methode zur Ermittlung des Untersuchungsrahmens (Scoping Review) angewendet wurde.

Scoping Reviews sind von großem Nutzen für die Bewertung von Forschungsergebnissen und werden häufig verwendet, um vorhandene wissenschaftliche Evidenz in einem bestimmten Bereich hinsichtlich ihrer Art, Qualität, anderer Merkmale und ihres Umfangs zu kategorisieren oder zu gruppieren. Dieses Scoping Review wurde nach den Grundsätzen der Transparenz, Reproduzierbarkeit und Strenge durchgeführt. Dies wurde erreicht, indem die PRISMA-ScR (bevorzugte Berichtelemente für systematische Überprüfungen und Metaanalysen – Erweiterung für Scoping Reviews) als methodischer Rahmen für diese Arbeit verwendet wurden. An jeder Phase dieser Überprüfung haben mindestens zwei Prüfer unabhängig voneinander gearbeitet: Einheitlichkeit und Standardisierung bei der Entscheidungsfindung wurden durch Diskussion und Konsensfindung unter den Prüfern erreicht. Das narrative Review (FR1) wird vom Scoping Review (FR2) unterschieden, aber die für Scoping Reviews angegebenen Auswahl- und Bewertungskriterien wurden für beide Recherchen sowie für den Ein-/Ausschluss von Studien zu den auf Krebs und Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bezogenen biologischen Endpunkten übernommen.

#### 2.1.1 Krebs

Epidemiologische Studien sind potenziell anfällig für diverse Fehlerquellen. Die Qualität der Studien wurde im Rahmen des Überprüfungsprozesses bewertet, und alle informativen Studien wurden berücksichtigt. Wie aussagekräftig eine Studie ist, misst sich an ihrer Fähigkeit, einen tatsächlichen Zusammenhang zwischen dem Agens und der Krebserkrankung aufzuzeigen, wenn es einen gibt, und das Fehlen eines Zusammenhangs, wenn es keinen gibt. Wichtige Determinanten der Aussagekraft sind unter anderem: eine ausreichend große Studienpopulation, um genaue Schätzungen der Wirkung zu erhalten; ausreichend verstrichene Zeit von der Exposition bis zur Messung des Ergebnisses für den zu beobachtenden Effekt (falls vorhanden); Vorhandensein eines angemessenen Expositionskontrasts

(Intensität, Häufigkeit und/oder Dauer); biologisch relevante Definitionen der Exposition; und relevante und gut definierte Zeitfenster für Exposition und Ergebnis (IARC-Präambel, 2019).

Wie in der IARC-Präambel erläutert, haben die meisten Karzinogene für den Menschen, die hinreichend auf ihre Karzinogenität an Versuchstieren untersucht wurden, positive Ergebnisse bei einer oder mehreren Tierarten gezeigt. Bei manchen Agenzien wurde die Karzinogenität im Tierversuch nachgewiesen, bevor sie in epidemiologischen Studien als krebserregend für den Menschen identifiziert wurden. Obwohl eine solche Beobachtung nicht belegen kann, dass alle Agenzien, die bei Versuchstieren Krebs verursachen, auch beim Menschen Krebs erzeugen, ist es biologisch plausibel, dass Agenzien, für die es ausreichende Beweise für die Karzinogenität in Versuchstieren gibt, eine karzinogene Gefahr für den Menschen darstellen (IARC-Präambel, 2019).

Alle verfügbaren Langzeitstudien zu Krebs bei Versuchstieren, die HF-EMF ausgesetzt werden, wurden nach einer gründlichen Bewertung der Studienmerkmale in die Überprüfung einbezogen. Studien, die wir als irrelevant für die Bewertung oder als unzureichend beurteilt haben (z. B. zu kurze Dauer, zu wenige Tiere, schlechte Überlebensrate; Expositionsbewertung usw.) wurden nicht berücksichtigt. Es wurden Leitlinien für die Durchführung von Langzeit-Versuchen zur Karzinogenität veröffentlicht (z. B. OECD, 2018a), und ihre Kriterien wurden als Referenz für die Bewertung der Angemessenheit von Studien herangezogen.

Hinsichtlich krebbezogener Studien zu HF, sowohl epidemiologische als auch experimentelle, wurden in den letzten Jahrzehnten bereits umfassende Literaturrecherchen durchgeführt; insbesondere beziehen wir uns auf die IARC-Monographie 102, die sich mit dem HF-Bereich 30 kHz–300 GHz befasst. Im Mai 2011 kamen 30 Wissenschaftler aus 14 Ländern beim IARC in Lyon, Frankreich, zusammen, um die Karzinogenität von HF-EMF zu bewerten. Diese Bewertungen wurden als Ausgabe 102 der IARC-Monographien veröffentlicht. Eine Zusammenfassung der Schlussfolgerungen der Arbeitsgruppe und der Gründe für die Bewertung zusammen mit den Studien, die die Schlussfolgerungen stützen, wurde im Mai 2011 veröffentlicht (Baan et al., 2011), die vollständige Monographie wurde im April 2013 veröffentlicht (IARC, 2013).

Die Ausarbeitung der IARC-Monographie über HF wurde so geplant, dass die Ergebnisse der großen internationalen Fall-Kontroll-Studie INTERPHONE über die Nutzung von Mobiltelefonen (durchgeführt 2003-2004; veröffentlicht im Jahr 2010) einbezogen werden. Daher haben wir beschlossen, die IARC-Publikation Monograph 102 (IARC, 2013) als „Schlüsselreferenz“ zu verwenden, um die Daten von 2011 bis zum Jahr 2020 zu aktualisieren und so den vorliegenden Bericht zu erstellen. Nach Sammlung und Prüfung der Originalarbeiten zur IARC-Analyse von 2011, die 2013 veröffentlicht wurde und durchgehend als (IARC, 2013) zitiert wird, unter Berücksichtigung ihrer Bewertungskriterien, um diese in späteren Bewertungen zu vereinheitlichen, haben wir alle relevanten Arbeiten ab 2011 nach denselben Kriterien gesammelt.

Nachdem wir die verfügbare Literatur nach den unten beschriebenen Kriterien ausgewählt und geprüft hatten, haben wir, wie für eine Ermittlung des Untersuchungsrahmens (Scoping Review) angemessen, die IARC-Tabellen (2013) bis 2020 aktualisiert. Die ausgewählten Studien sind in Form von Zusammenfassungen im Text und in Tabellen im Kapitel „Bewertung einzelner Studien“ enthalten, unterteilt nach untersuchtem Endpunkt und nach Studienmerkmalen. Jede Studie ist sowohl in der Zusammenfassung als auch in der entsprechenden Tabelle in der gleichen Reihenfolge nummeriert. In den zusammenfassenden Tabellen werden die Studien nicht mit spezifischen Kommentaren klassifiziert, sondern nur als ausreichend/unzureichend in Bezug auf Stichprobenumfang, Studiendesign, Expositionsbewertung und, falls angemessen, positive/negative/mehrdeutige Ergebnisse:



- *Ausreichend*: keine schwerwiegenden qualitativen oder quantitativen Einschränkungen.
- *Unzureichend*: schwerwiegende qualitative oder quantitative Einschränkungen beeinträchtigen die Studie; reicht nicht aus, um entweder das Vorhandensein oder das Nichtvorhandensein bestimmter schädlicher Wirkung nachzuweisen.

Falls ausreichend:

- *Positiv*: statistisch signifikante Zunahme der spezifischen Pathologie in Verbindung mit HF-EMF-Exposition.
- *Mehrdeutig*: Es wurde eine schädliche Wirkung nachgewiesen, die eine geringfügige (statistisch nicht signifikante) Zunahme der spezifischen Pathologie zeigt, die mit HF-EMF in Verbindung gebracht werden kann.
- *Negativ*: keine durch HF-EMF bedingte Zunahme spezifischer Pathologien.

### 2.1.2 Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung

Da bis heute keine ausreichende, umfassende Überprüfung von Studien zu den Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung vorliegt, wurde eine solche Überprüfung für alle zwischen 1945 und 2020 veröffentlichten Studien durchgeführt. Nachdem wir die Literatur nach den unten beschriebenen Kriterien ausgewählt und gesichtet hatten, fassten wir die Daten bis zum Jahr 2020 in speziellen Tabellen zusammen.

Um hinsichtlich Tierversuchen nur aussagekräftige Studien auszuwählen, wurde eine weitere Auswahl von Studien auf der Grundlage der Leitlinien NTP Modified One Generation Study und OECD 443 getroffen, die 2014 bewertet wurden (Foster et al., 2014) und für die Untersuchung von Versuchstieren (Nagetieren) auf Anzeichen von Entwicklungspathologie sowie hinsichtlich endokriner Disruptoren, weiblicher und männlicher Fortpflanzung sowie des Fortpflanzungssystems vorgesehen sind. Das Design für die Leitlinien-Studie sieht mindestens 10 Tiere pro Geschlecht und Gruppe vor, um statistisch belastbare Ergebnisse zu erhalten.

Die Zusammenfassungen der ausgewählten Studie sind im Text und in Tabellen im Kapitel „Bewertung einzelner Studien“ enthalten, unterteilt nach untersuchtem Endpunkt und nach den Studienmerkmalen. Die jeweiligen Studien werden in der gleichen Reihenfolge wie in der entsprechenden Tabelle nummeriert und vorgelegt. In den zusammenfassenden Tabellen werden die Studien nicht mit spezifischen Kommentaren klassifiziert, sondern nur als ausreichend/unzureichend in Bezug auf Stichprobenumfang, Studiendesign, Expositionsbewertung und, falls angemessen, positive/negative/mehrdeutige Ergebnisse:

- *Ausreichend*: keine schwerwiegenden qualitativen oder quantitativen Einschränkungen.
- *Unzureichend*: schwerwiegende qualitative oder quantitative Einschränkungen beeinträchtigen die Studie; reicht nicht aus, um entweder das Vorhandensein oder das Nichtvorhandensein bestimmter schädlicher Wirkung nachzuweisen.

Falls ausreichend:

- *Positiv*: statistisch signifikante Zunahme der spezifischen Pathologie in Verbindung mit HF-EMF-Exposition.
- *Mehrdeutig*: Es wurde eine schädliche Wirkung nachgewiesen, die eine geringfügige (statistisch nicht signifikante) Zunahme der spezifischen Pathologie zeigt, die mit HF-EMF in Verbindung gebracht werden kann.
- *Negativ*: keine durch HF-EMF bedingte Zunahme spezifischer Pathologien.

## 2.2 Suchstrategie

Zunächst wurde eine Auswahl der passendsten Schlüsselwörter vorgenommen:

*Exposition*: EMF [EMF]; RF [HF]; 5G [5G]; radiofrequency radiation [Hochfrequenzstrahlung]; radiofrequency [Hochfrequenz]; electromagnetic field [elektromagnetisches Feld]; electromagnetic radiation [elektromagnetische Strahlung].

*Population (Tier)*: in vivo [in vivo]; experimental [experimentell]; animal [Tier]; rodent(s) [Nagetier(e)]; rat(s) [Ratte(n)]; mouse [Maus]; mice [Mäuse].

*Population (Mensch)*: epidemiological [epidemiologisch]; observational [beobachtend]; cross-sectional [Querschnitt]; case-control [Fall-Kontrolle]; worker(s) [Arbeiter]; military [Militär]; Population [Population/Bevölkerung].

*Ergebnis (karzinogene Wirkungen)*: cancer [Krebs]; tumour [Tumor].

*Ergebnis (Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit)*: reproductive [Fortpflanzungsfähigkeit]; development [Entwicklung]; fertility [Fertilität]; sperm [Spermien]; ovary [Ovar/Eierstock]; pregnancy [Schwangerschaft/Trächtigkeit]; ano-genital [anogenital]; estrus [Östrus].

Basierend auf den Schlüsselwörtern wurden die folgenden Such-Zeichenfolgen zusammengestellt, um alle Studien von Interesse in PubMed zu erfassen, einer großen Datenbank, die mehr als 30 Millionen Zitate biomedizinischer Literatur aus MEDLINE, biowissenschaftlichen Zeitschriften und Online-Büchern enthält. Die Zitate können Links zu Volltext-Inhalten aus PubMed Central und Websites von Veröffentlichern enthalten.

*Studien am Menschen, karzinogene Wirkungen*

((epidemiologic\* OR observation\* OR "cross sectional" OR "case control" OR worker OR military OR population OR child OR employ\*) AND (EMF OR RF OR 5G OR "radiofrequency radiation" OR radiofrequency OR "electromagnetic field" OR "electromagnetic radiation") AND (cancer OR tumour)) NOT (therapy OR ablation) [((epidemiologisch\* ODER beobachtend\* ODER „Querschnitt“ ODER „Fall-Kontroll“ ODER Arbeiter ODER Militär ODER Population ODER Kind ODER Arbeitnehmer\*) UND (EMF ODER HF ODER 5G ODER „Hochfrequenzstrahlung“ ODER Hochfrequenz ODER „elektromagnetisches Feld“ ODER „elektromagnetische Strahlung“) UND (Krebs ODER Tumor)) NICHT (Therapie ODER Ablation)]

*In-vivo-Studien (Nagetiere), karzinogene Wirkungen*

((“in vivo“ OR experimental OR animal OR rodent\* OR rat OR mouse OR mice OR hamster\* OR rabbit\*) AND (EMF OR RF OR 5G OR "radiofrequency radiation" OR radiofrequency OR "electromagnetic field" OR

“electromagnetic radiation”) AND (cancer OR tumour)) NOT (therapy OR ablation) [(„in vivo“ ODER experimentell ODER Tier ODER Nagetier\* ODER Ratte ODER Maus ODER Maus ODER Hamster\* ODER Kaninchen\*) UND (EMF ODER HF ODER 5G ODER „Hochfrequenzstrahlung“ ODER Hochfrequenz ODER „elektromagnetisches Feld“ ODER „elektromagnetische Strahlung“) UND (Krebs ODER Tumor)) NICHT (Therapie ODER Ablation)]

*Studien am Menschen, Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit und die Entwicklung*

((epidemiologic\* OR observation\* OR “cross sectional” OR “case control” OR worker OR military OR population OR child OR employ\*) AND (EMF OR RF OR 5G OR “radiofrequency radiation” OR radiofrequency OR “electromagnetic field” OR “electromagnetic radiation”) AND (reproductive OR development OR fertility OR sperm OR ovary OR pregnancy OR “ano genital” OR estrus)) NOT (therapy OR ablation) [((epidemiologisch\* ODER beobachtend\* ODER „Querschnitt“ ODER „Fall-Kontroll“ ODER Arbeiter ODER Militär ODER Population ODER Kind ODER Arbeitnehmer\*) UND (EMF ODER HF ODER 5G ODER „Hochfrequenzstrahlung“ ODER Hochfrequenz ODER „elektromagnetisches Feld“ ODER „elektromagnetische Strahlung“) UND (Fortpflanzung ODER Entwicklung ODER Fertilität ODER Spermien ODER Ovar ODER Schwangerschaft ODER „anogenital“ ODER Östrus)) NICHT (Therapie ODER Ablation)]

*In-vivo-Wirkungen (Nagetiere) und Wirkungen auf Fortpflanzungsfähigkeit und Entwicklung*

((“in vivo” OR experimental OR animal OR rodent\* OR rat OR mouse OR mice OR hamster\* OR rabbit\*) AND (EMF OR RF OR 5G OR “radiofrequency radiation” OR radiofrequency OR “electromagnetic field” OR “electromagnetic radiation”) AND (reproductive OR development OR fertility OR sperm OR ovary OR pregnancy OR “ano genital” OR estrus)) NOT (therapy OR ablation) [(„in vivo“ ODER experimentell ODER Tier ODER Nagetier\* ODER Ratte ODER Maus ODER Maus ODER Hamster\* ODER Kaninchen\*) UND (EMF ODER HF ODER 5G ODER „Hochfrequenzstrahlung“ ODER Hochfrequenz ODER „elektromagnetisches Feld“ ODER „elektromagnetische Strahlung“) UND (Fortpflanzung ODER Entwicklung ODER Fertilität ODER Spermien ODER Ovar ODER Schwangerschaft ODER „anogenital“ ODER Östrus)) NICHT (Therapie ODER Ablation)].

Wir durchsuchten systematisch die elektronische wissenschaftliche Datenbank PubMed und das EMF-Portal nach potenziell geeigneten Einträgen. Die PubMed-Suche erfolgte am 24. Februar 2020 nach epidemiologischen und experimentellen Karzinogenitätsstudien und am 20. Juli 2020 nach epidemiologischen und experimentellen Studien zu Ergebnissen in Bezug auf die Fortpflanzungsfähigkeit – alle Suchen wurden im Januar 2021 im EMF-Portal aktualisiert. Die ersten 100 Ergebnisse von Google und Google Scholar wurden ausgewertet, um zu prüfen, ob relevante, nicht doppelte Ergebnisse vorhanden sind. Wir haben auch die Quellenangaben der für den gleichen Zweck ausgewählten Studien überprüft. Und zuletzt haben wir Experten auf dem Gebiet gebeten, unsere Listen zu überarbeiten und zusätzliche relevante Studien vorzuschlagen.

## 2.3 Auswahl der relevanten Literatur

Die Kriterien „Population, Exposition, Kontrolle und Ergebnis“ (population, exposure, comparator and outcome) (PECO Statement, Morgan et al. 2018) wurden übernommen, um den Umfang dieser Arbeit und somit die Kriterien für die Auswahl der Literatur klar zu definieren:

*Population:* HF-exponierte Population aus In-vivo-Studien, insbesondere aus experimentellen Bioassays an Nagetieren, da diese die aussagekräftigsten Modelle für die menschliche Gesundheit darstellen, sowie Arbeiter und die allgemeine Population aus epidemiologischen Studien;

*Exposition:* Exposition gegenüber den in 5G-Netzen eingesetzten HF, insbesondere den Frequenzen, die von der Europäischen Union als Standard für die Nutzung festgelegt wurden: 450 MHz bis 6 GHz und 24 bis 100 GHz.

*Kontrolle:* unbehandelte Populationen (Kontrollen) aus experimentellen Bioassays an Nagetieren und, sofern verfügbar, Gruppen von gesunden oder nicht exponierten Kontrollen aus epidemiologischen Studien;

*Art des Ergebnisses:* besonders besorgniserregende gesundheitliche Auswirkungen, die mit der Exposition gegenüber HF in Verbindung gebracht werden, nämlich Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit und die Karzinogenität (Vornoli et al., 2019).

Wir haben bei der Überprüfung alle Arten von Studiendesigns berücksichtigt; nicht originale Studien, Schreiben und Anmerkungen wurden nicht berücksichtigt. Es wurden von Fachkollegen geprüfte Artikel in englischer Sprache, die von 1945 bis Januar 2021 veröffentlicht wurden, berücksichtigt. Englisch ist die am häufigsten verwendete Sprache für wissenschaftliche Veröffentlichungen, und für Veröffentlichungen in anderen Sprachen gibt es in der Regel eine Zusammenfassung in englischer Sprache.

## 2.4 Screening-Verfahren

Das Screening-Verfahren wurde mit der Online-App Rayyan QCRI für systematische Überprüfungen durchgeführt. Die Auswahl der Literatur wurde von zwei Prüfern vorgenommen, die unabhängig voneinander alle Literaturhinweise in zwei Schritten prüften: Im ersten Schritt wurde die Entscheidung über den Ausschluss/Einschluss auf der Grundlage des Titels und der Zusammenfassung vorgenommen. Im zweiten Schritt wurden die vollständigen Texte der potenziell relevanten Artikel gründlich geprüft, um die Übereinstimmung mit den oben genannten PECO-Kriterien zu überprüfen. In der zweiten Phase der Auswahl wurden alle Einschluss-/Ausschlussentscheidungen und alle Zweifel von den beiden Gutachtern diskutiert, ausgeräumt und eine Einigung darüber erzielt. Die Ergebnisse des Auswahlverfahrens werden in den folgenden Abschnitten anhand von PRISMA-Flussdiagrammen (Moher et al., 2009) veranschaulicht.

## 2.5 Extraktion von Informationen aus der relevanten Literatur

Man beschloss, zwei verschiedene Formen der Datendarstellung zur Extraktion von Informationen aus der ausgewählten Literatur zu verwenden, da epidemiologische und experimentelle Studien sehr unterschiedliche Merkmale und Besonderheiten aufweisen, denen Rechnung getragen werden muss. Die Instrumente wurden ausgewählt, um eine vollständige und standardisierte Erfassung aller Informationen zu erzielen, die für die Bewertung der Studiendurchführung, der Expositionsbewertung und der gesundheitlichen Auswirkungen relevant sind. Die Datentabelle für epidemiologische Studien basierte auf derjenigen, die für die Reihe von Überprüfungen verwendet wurde, die durchgeführt wurden, um *die gemeinsame Methodik von WHO und ILO zur Schätzung der arbeitsbedingten Krankheits- und Verletzungslast* auszuarbeiten, zu perfektionieren und zu testen (Mandrioli et al., 2018; Sgargi et al., 2020). Die Datentabelle für experimentelle Studien basierte auf dem Format, das in den IARC-Monographien zur Bewertung der Karzinogenität verwendet wird.

Beide Formen sind validierte Instrumente und liefern erwiesenermaßen erschöpfende Daten zur relevanten Literatur. Die Kalibrierung und Einheitlichkeit wurde durch mehrere Runden unabhängiger, verblindeter Studienextraktion, Diskussion und Konsensfindung unter den Prüfern erreicht.

Für epidemiologische Studien wurde ein breites Spektrum an Informationen extrahiert, und zwar: *Referenz-ID; Art der Studie; Datenerhebungsverfahren; Land; Jahr; N; Geschlecht; Alter; Berufliche Tätigkeit; Quelle der Exposition; Dauer der Exposition; Frequenz der Exposition; Intensität der Exposition; Andere Co-Expositionen/Anpassungen; Methoden für die Expositionsbewertung; Beobachtete gesundheitliche Auswirkungen; Messgröße für die beobachteten gesundheitlichen Auswirkungen; Ergebnisse; Schlussfolgerungen; Autoren; Zugehörigkeiten; Interessenkonflikt; Finanzierung.*

Für experimentelle Studien wurden die folgenden Elemente aus der Literatur extrahiert:

*Referenz-ID; Art der Studie; Stamm, Art (Geschlecht); Expositionsdauer; Frequenz; Intensität; Andere Co-Expositionen; Expositionszeit – Anzahl der Tiere; Erhöhte Inzidenz von Tumoren*

Die Informationen wurden von den Prüfern unabhängig voneinander extrahiert und anschließend von allen Prüfern und einem anerkannten Experten gegengeprüft.

## 2.6 Evidenzsynthese

Bei der abschließenden Bewertung der Ergebnisse der Überprüfung sowohl der epidemiologischen als auch der experimentellen Studie sowie der Ergebnisse in Bezug auf Krebs und Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung haben wir die in der Präambel der IARC-Monografie (2019) angegebenen Parameter berücksichtigt, die auf die Anforderungen des vorliegenden Berichts zugeschnitten sind und für beide Endpunkte gelten (d. h. Auswirkungen bezüglich Krebs und bezüglich Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung):

*Ausreichende Evidenz:* Ein kausaler Zusammenhang zwischen Exposition gegenüber HF-EMF und den konkreten schädlichen Wirkungen wurde ermittelt. Das heißt, in der Evidenz wurde ein positiver Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber dem Agens und der spezifischen unerwünschten Wirkung in Studien beobachtet, wobei Zufall, Verzerrungen und Störfaktoren mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen wurden.

*Begrenzte Evidenz:* Eine in der Evidenz beobachtete kausale Interpretation des positiven Zusammenhangs zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und der spezifischen schädlichen Wirkung ist plausibel, aber Zufall, Verzerrung oder Störfaktoren können nicht mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden.

*Keine Evidenz:* Es liegen keine Daten oder Evidenz vor, was darauf hinweist, dass keine schädlichen Wirkungen vorhanden sind (zu konkretisieren).

## 2.7 Gesamtbewertung der vorliegenden Überprüfung

Die Ergebnisse der Überprüfung sowohl für Krebs als auch für Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung wurden schließlich nach den in der IARC-Präambel (2019) angegebenen Kriterien bewertet, die auf die Bedürfnisse des vorliegenden Berichts zugeschnitten sind. Abbildung 8 zeigt die Evidenzflüsse, die für die Gesamteinstufung durch das IARC herangezogen wurden. Die Gründe, die das IARC für seine Bewertung herangezogen hat, werden zusammengefasst, sodass die Grundlage für die angebotene Bewertung transparent ist. In der Präambel der IARC-Monographie sind die wichtigsten Erkenntnisse aus Studien über Krebs beim Menschen, Krebs bei Versuchstieren und mechanistische Evidenz zusammengefasst (IARC-Präambel, 2019).

Die IARC-Kriterien beziehen sich auf Krebs, gelten aber auch für die Bewertung der Auswirkungen auf Fortpflanzungsfähigkeits-/Entwicklungsparameter. Mechanistische Evidenz wurde in der vorliegenden Überprüfung nicht berücksichtigt; daher haben wir die Ergebnisse für Krebs und Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen ausschließlich mit den Ergebnissen für Krebs und Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren integriert, wobei wir die in Abbildung 9 angegebenen Kriterien verwendet haben.

Abbildung 7 – IARC-Kriterien für Gesamteinstufungen (die fett und kursiv gedruckten Nachweise bilden die Grundlage für die Gesamtbewertung) (Quelle: IARC-Präambel, 2019)

Evidenzfluss			Einstufung basierend auf der Beweiskraft
Evidenz für Krebs beim Menschen <sup>a</sup>	Evidenz für Krebs bei Versuchstieren	Mechanistische Evidenz	
Ausreichend	Nicht notwendig	Nicht notwendig	Karzinogen für den Menschen (Gruppe 1)
Begrenzt oder unzureichend	Ausreichend	Stark (b) (1) (exponierte Menschen)	
Begrenzt	Ausreichend	Stark (b) (2–3), begrenzt oder unzureichend	Wahrscheinlich karzinogen für den Menschen (Gruppe 2A)
Unzureichend	Ausreichend	Stark (b) (2) (menschliche Zellen oder Gewebe)	
Begrenzt	Weniger als ausreichend	Stark (b) (1–3)	
Begrenzt oder unzureichend	Nicht notwendig	Stark (a) (mechanistische Klasse)	
Begrenzt	Weniger als ausreichend	Begrenzt oder unzureichend	Möglicherweise karzinogen für den Menschen (Gruppe 2B)
Unzureichend	Ausreichend	Stark (b) (3), begrenzt oder unzureichend	
Unzureichend	Weniger als ausreichend	Stark (b) (1–3)	
Begrenzt	Ausreichend	Stark (c) (auf den Menschen nicht anwendbar) <sup>b</sup>	
Unzureichend	Ausreichend	Stark (c) (auf den Menschen nicht anwendbar) <sup>b</sup>	Nicht hinsichtlich der Karzinogenität für den Menschen einstuftbar (Gruppe 3)
Alle anderen, oben nicht aufgeführten Situationen			

<sup>a</sup> Krebserkrankung(en) beim Menschen mit der höchsten Bewertung

<sup>b</sup> Die *starke Evidenz, dass der Mechanismus der Karzinogenität bei Versuchstieren auf den Menschen nicht anwendbar ist*, muss sich speziell auf die Tumorstellen beziehen, die die Einstufung als *ausreichende Evidenz bei Versuchstieren* stützen.

Abbildung 8 – Kriterien für die Gesamtbewertung in der vorliegenden Überprüfung (FR1 und FR2)

<b>Evidenz beim Menschen</b>	<b>Evidenz bei Versuchstieren</b>	<b>Evidenz basierend auf Beweiskraft</b>
Ausreichend	Nicht notwendig	Eindeutiger Zusammenhang zwischen Exposition und schädlicher Wirkung
Begrenzt	Ausreichend	Wahrscheinlicher Zusammenhang zwischen Exposition und schädlicher Wirkung
Begrenzt	Weniger als ausreichend	Möglicher Zusammenhang zwischen Exposition und schädlicher Wirkung
Unzureichend	Unzureichend oder begrenzt	Nicht einstuftbar



## 3. Einschränkungen der vorliegenden Überprüfung

### 3.1 Bewertung einzelner Studien

Bei experimentellen Studien wird eine standardisierte Methodik angewandt, die spezifischen Leitlinien folgt, was die Bewertung der einzelnen Ergebnisse und die Beurteilung der Qualität der Studie und der Ergebnisse erheblich erleichtert. Die verblindete Bewertung der Ergebnisse, die Eignung der Stichprobengröße und die Angemessenheit der statistischen Analyse wurden, sofern verfügbar, ebenfalls bewertet und für jede Studie angegeben. Wir haben Tierversuche ausgewählt und analysiert, wobei wir darauf geachtet haben, dass sie den zugehörigen Leitlinien entsprechen.

Was epidemiologische Studien betrifft, so sind Erinnerungsfehler eine systematische Gefahr in der Epidemiologie, die sich auf retrospektive Studien auswirkt, wenn die Teilnehmer zu einer in der Vergangenheit liegenden Exposition befragt werden oder Fragebögen ausfüllen. In der Regel liegt das Problem darin, dass die Erinnerungen der Befragten ungenau oder unvollständig sein können. Dies wird zu einem ernststen Problem bei Fall-Kontroll-Studien, bei denen Betroffene, deren Gesundheit beeinträchtigt wurde, sich wahrscheinlich bewusster und klarer an die frühere Exposition erinnern, während sich die Kontrollpersonen bezüglich des Ereignisses oft weniger bewusst sind und sich weniger genau erinnern. Dies kann den beobachteten Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung verstärken oder abschwächen.

### 3.2 Expositionsbewertung

Die Expositionsbewertung ist ein kritischer Punkt in epidemiologischen Studien zu aus der Mobilkommunikation stammenden HF, da sie sehr anspruchsvoll sein kann und, wenn sie nicht den höchsten Standards entspricht, dazu führen kann, dass die Ergebnisse ihre Aussagekraft verlieren. Wir haben Studien ausgeschlossen, die aufgrund von Mängeln bei der Durchführung und Analyse keine nützlichen Informationen liefern.

Erinnerungsverzerrung, wie im vorherigen Abschnitt erwähnt, kann bei allen Fall-Kontroll-Studien mit von den Befragten selbst berichteten Expositionen ein zentrales Problem darstellen. Darüber hinaus sind erhebliche Fehlklassifizierungen ein häufiges Problem in Studien, in denen die Expositionsbewertung allein auf Berufsbezeichnungen oder Mobilfunkverträgen beruht; in diesen Fällen handelte es sich lediglich um eine Schätzung der Exposition. Für eine aussagekräftige Interpretation haben wir versucht, alle Originalberichte objektiv, umfassend und einheitlich nach einer standardisierten Methode zu bewerten, ohne jedoch anzunehmen, dass unsere Überprüfung mit einer systematischen Überprüfung durch eine bestimmte Arbeitsgruppe konkurrieren könnte.

Bei experimentellen Studien wurde die Vergleichbarkeit der Verfahren für den Umgang mit den exponierten Gruppen und den Kontrollgruppen, einschließlich der Scheinexposition, die Qualität des Expositionssystems und der Dosimetrie sowie die Möglichkeit thermischer Effekte aufgrund von Gewebeerwärmung berücksichtigt, um eine korrekte Analyse zu gewährleisten.

Wie in dem Bericht beschrieben, hängen die Frequenzen (unter anderem) mit der Tiefe des Eindringens in das Gewebe zusammen, aber auch andere Dimensionen der Exposition können die gesundheitlichen Folgen beeinflussen. Vor dem Hintergrund bestimmter neuer Merkmale von 5G (MIMO, Beamforming) und der damit verbundenen und anerkannten Unsicherheiten in Bezug auf die Exposition und die Expositionsbewertung ist es fraglich, ob die Studien zu 1G bis 4G direkt verallgemeinert auf 5G angewendet werden können (selbst wenn dieselben Frequenzen verwendet werden, hier FR1). Diese Unsicherheiten bei der Beschreibung der Exposition werden sich auf die Expositionsbewertung für neue Studien (insbesondere für epidemiologische Studien zu 5G, hier FR2) auswirken, und im Hinblick auf die Risikobewertung könnten einige Messgrößen für die Exposition gegenüber HF-EMF und damit verbundene (vermutete oder nachgewiesene) schädliche Gesundheitsfolgen unterschiedlich sein. Diese

Überlegungen sollten nicht von der Tatsache ablenken, dass die derzeitigen Erkenntnisse aus den Studien zu 1G bis 4G die beste verfügbare Evidenz darstellen.

Zu den experimentellen Untersuchungen zählen auch Studien, bei denen ein Mobiltelefon im GSM-Modus mit einem aktiven Anruf in geringem Abstand zum Körper des Tieres verwendet wurde. Der aktive Anrufmodus wird für gewöhnlich während des gesamten Experiments beibehalten; die Kontrollgruppe (Gruppe mit Scheinexposition) wird mit ausgeschaltetem Mobiltelefon behandelt. Die Exposition hängt von der Qualität der Verbindung mit der Basisstation ab und die Exposition wird während der gesamten Studie gemessen; wir hielten diese Art von Studien für eine angemessene Expositionsbewertung, da sie die entsprechende Situation beim Menschen simulieren.

### 3.3 Einschränkungen für eine systematische Überprüfung von 5G-Frequenzen

Die STOA bat die Autorin, die verfügbaren Informationen über die Auswirkungen von 5G-Frequenzen auf die Gesundheit zu sammeln. Ursprünglich war das Ziel, den Kriterien für einen systematischen Übersichtsartikel zu folgen, wir stellen aber bald fest, dass es für die relevanten Endpunkte keine ausreichenden Studien über Millimeterwellen gibt. Daher vereinbarten wir, eine narrative Überprüfung der niedrigsten Frequenzen (FR1), die bereits von den maßgeblichen Arbeitsgruppen zumindest bis 2011 auf krebserregende Wirkungen beurteilt wurden, sowie eine Ermittlung des Untersuchungsrahmens (Scoping Review) über Millimeterwellen (FR2) durchzuführen, das erwartungsgemäß keine ausreichenden Ergebnisse lieferte. Die Methodik für die Überprüfung (das Scoping Review) wurde jedoch sowohl für die Ergebnisse zu FR1 als auch für jene zu FR2 unverändert beibehalten.

### 3.4 Gesamtbewertung

Ein Scoping Review (SR) erfordert fundierte Fachkenntnisse in mehreren Disziplinen. Die Bewertung der einzelnen Studien stellte für die an der Überprüfung beteiligten Wissenschaftler eine erhebliche Herausforderung dar. Eine systematische Bewertung würde eine vollständige und tiefgehende Überprüfung der zugrunde liegenden Studien erfordern. Dies geht über den Rahmen dieses Dokuments hinaus, das für die Mitglieder und Mitarbeiter des Europäischen Parlaments erarbeitet wurde und ihnen als Hintergrundmaterial für ihre parlamentarische Arbeit dienen soll.

Die vom IARC angewendeten Bewertungskriterien, die in seiner Präambel (IARC-Präambel, 2019) beschrieben sind, wurden sowohl auf Krebs als auch auf Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung zugeschnitten und für diese Bereiche verwendet. Wir haben diese zusammengeführten Kriterien verwendet, um mit vollständiger Transparenz zu arbeiten und den Prüfern die Möglichkeit zu geben, unsere Arbeit zu überprüfen.

Dieser Bericht wurde von Dr. Fiorella Belpoggi verfasst, einer Expertin für HF-EMF, experimentelle Karzinogenese und experimentelle Studien zu die Fortpflanzungsfähigkeit und die Entwicklung betreffenden Gesundheitsergebnissen. Die Autorin wurde von Experten mit Fachkenntnissen in den Bereichen Methodik für systematische Überprüfung/Scoping Reviews (DM), Biostatistik (DS), Krebsforschung (AV), Expositionsbewertung (FaB) und menschliche Fortpflanzung und Entwicklung (CF, AG) unterstützt. Gemeinsam verfügt das Team über fundiertes Fachwissen in den meisten Bereichen, die für diese Überprüfung erforderlich sind, unter Umständen mit etwas Verbesserungspotenzial in der Krebsepidemiologie.

## 4. Bewertung einzelner Studien

### 4.1 Karzinogenität nach Frequenzbereich

#### 4.1.1 Krebs in epidemiologischen Studien: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF im niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6 000 MHz) untersuchen, was auch die Frequenzen einschließt, die in den Breitband-Mobilfunknetzen früherer Generationen (1G bis 4G) genutzt werden.

Insgesamt wurden 950 Artikel mittels Datenbanksuche und anderer Quellen ermittelt. Nach Entfernung von Duplikaten (20) und Ausschluss nicht relevanter Artikel (685) auf der Grundlage des Titels und der Zusammenfassungen verblieben 245 Artikel. Auf der Grundlage eines Volltext-Screenings wurden 90 weitere Papiere ausgeschlossen, sodass 155 Artikel mit angemessenen Frequenzen in diese qualitative Synthese aufgenommen werden konnten.

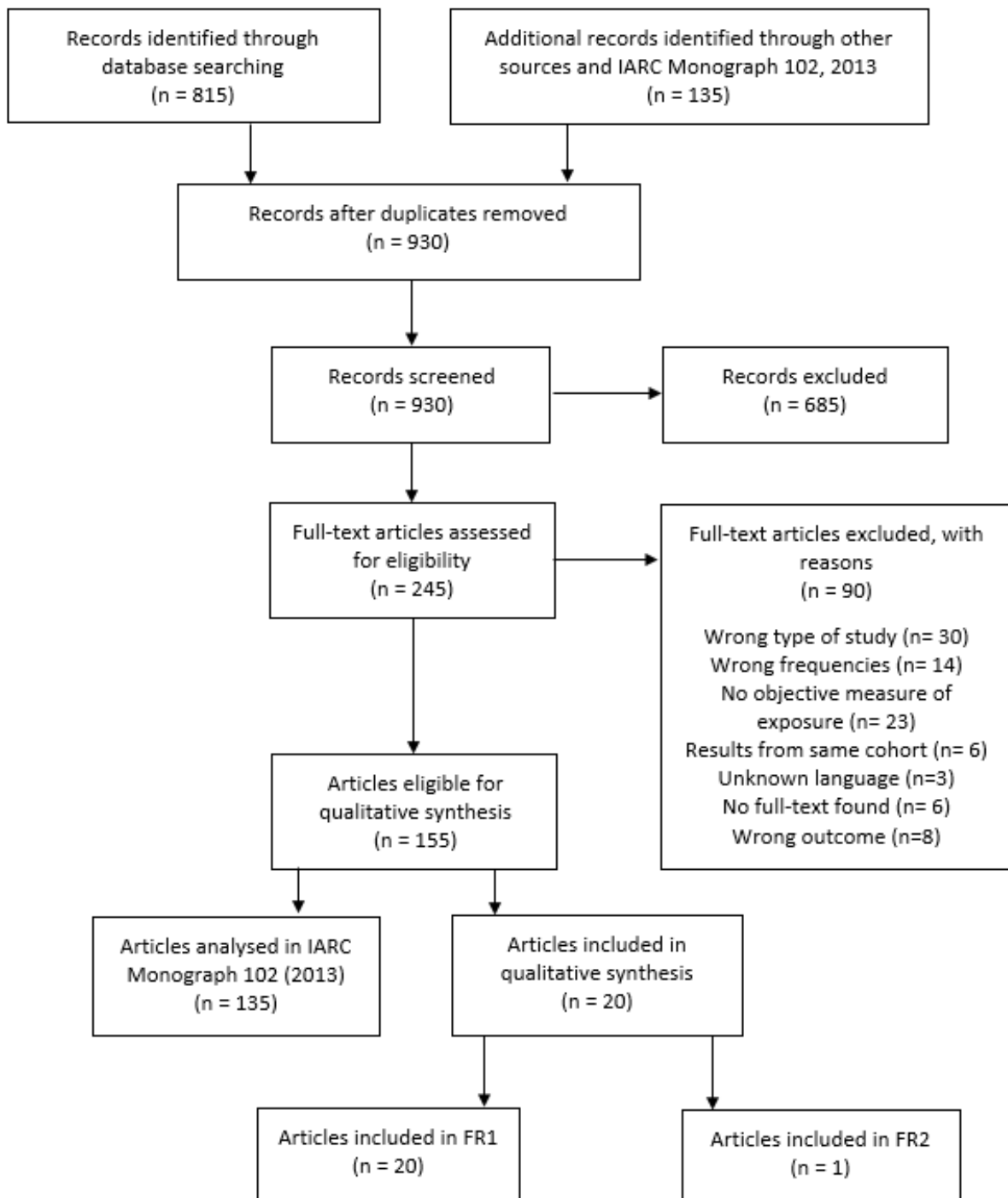
Wie im Abschnitt über die Methodik eingehender erläutert, haben wir IARC (2013) als Schlüsselreferenz für alle bis 2011 veröffentlichten Studien herangezogen: Alle Originalveröffentlichungen (135), die in die IARC-Monographie aufgenommen wurden, wurden analysiert und in diesem Bericht ebenfalls referenziert; selbstverständlich haben wir für diesen Bericht nur die endgültige IARC-Einstufung berücksichtigt. Die übrigen 20 Artikel, die nach 2011 veröffentlicht wurden, wurden in dieses Scoping Review einbezogen.

In dieser Phase wurde außerdem eine Abgrenzung basierend auf dem Frequenzbereich durchgeführt: Von den 20 einbezogenen Papieren berichteten alle 20 über Expositionen, die zu dem in FR1 betrachteten Frequenzband gehören, und eine Arbeit berichtete auch über Expositionen in Bezug auf FR2, insbesondere MMW aus der Exposition am Arbeitsplatz gegenüber Radarwellen.

Zu jedem Artikel werden eine Zusammenfassung und eine Tabelle, in der die wichtigsten Informationen zusammengefasst werden, vorgelegt; Darüber hinaus hat ein anerkannter Experte ihre Eignung für die Bewertung karzinogener Wirkungen (ausreichend/unzureichend) beurteilt und eine Gesamtsynthese der Ergebnisse (positiv/negativ/mehrdeutig) gemäß den im Abschnitt zur Methodik beschriebenen Kriterien abgegeben.

Das Flussdiagramm für die Auswahl der Arbeiten über epidemiologische Krebsstudien für FR1 ist in Abb. 9 zu finden.

Abbildung 9 – Flussdiagramm. Epidemiologische Studien zu Krebs (FR1)



### SCHLÜSSELREFERENZ: IARC 2013

Die IARC-Monographie 102 (IARC, 2013) ist die Schlüsselreferenz für die vorliegende Bewertung. Im Mai 2011 kamen nach einjähriger Vorbereitung und Überprüfung von Entwürfen 30 Wissenschaftler aus 14 Ländern bei der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) in Lyon, Frankreich, zusammen, um die Karzinogenität hochfrequenter elektromagnetischer Felder (HF-EMF) zu bewerten. Diese Bewertung wurde als Ausgabe 102 der IARC-Monographien (IARC, 2013) veröffentlicht. Epidemiologische Evidenz für einen Zusammenhang zwischen HF-EMF und Krebs stammt aus Kohorten- und Fall-Kontroll-Studien sowie aus Studien zur Untersuchung von Trends im Zeitverlauf (Längsschnittstudien). Die Populationen in diesen Studien waren gegenüber HF-EMF folgendermaßen ausgesetzt: am Arbeitsplatz, durch Quellen in der allgemeinen Umgebung und durch die Nutzung von drahtlosen (mobilen und schnurlosen) Telefonen, welche die am umfassendsten untersuchte Expositionsquelle darstellt.

Eine Kohortenstudie (Schüz et al., 2006) und fünf Fall-Kontroll-Studien (Muscat et al., 2000; Inskip et al., 2001; Auvinen et al., 2002; INTERPHONE Study Group, 2010; Hardell et al., 2011) wurden von der Arbeitsgruppe als potenziell nützliche Informationen über Zusammenhänge zwischen der Nutzung von Funktelefonen und Gliomen beurteilt.

Zwar sind sowohl die INTERPHONE-Studie als auch die schwedische gepoolte Analyse anfällig für Verzerrungen – aufgrund von Erinnerungsfehlern und der Auswahl für die Teilnahme –, jedoch gelangte die Arbeitsgruppe zu dem Schluss, dass die Ergebnisse nicht allein als Ausdruck von Verzerrungen abgetan werden können und dass eine kausale Interpretation zwischen HF-EMF-Exposition durch Mobiltelefone und Gliomen möglich ist. Eine ähnliche Schlussfolgerung wurde für das Akustikusneurinom gezogen, obwohl die Fallzahlen wesentlich geringer waren als beim Gliom. Darüber hinaus fand eine Studie aus Japan (Sato et al., 2011) Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für ein Akustikusneurinom im Zusammenhang mit der Handynutzung immer auf ein und derselben Körperseite (ipsilaterale Nutzung).

Für Meningiome, Parotistumoren, Leukämie, Lymphome und andere Tumorarten hielt die Arbeitsgruppe die vorliegende Evidenz für unzureichend, um zu einer Schlussfolgerung über den möglichen Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen zu gelangen. In epidemiologischen Studien an Personen mit potenzieller Exposition am Arbeitsplatz gegenüber HF-EMF wurden Hirntumoren, Leukämie, Lymphome und andere Arten von bösartigen Erkrankungen, einschließlich Aderhautmelanom sowie Hoden-, Brust-, Lungen- und Hautkrebs, untersucht. Die Arbeitsgruppe stellte fest, dass die Studien methodische Einschränkungen aufwiesen und die Ergebnisse uneinheitlich waren. Bei der Überprüfung der Studien, die sich mit dem möglichen Zusammenhang zwischen Exposition gegenüber HF-EMF in der Umwelt und Krebs befassten, kam die Arbeitsgruppe zu dem Schluss, dass es *„begrenzte Evidenz beim Menschen“* für die Karzinogenität von HF-EMF gibt, basierend auf positiven Assoziationen zwischen Gliomen und Akustikusneurinomen einerseits und der Exposition gegenüber HF-EMF von Funktelefonen andererseits.

Damals hielten einige Mitglieder der Arbeitsgruppe die derzeitige Evidenz beim Menschen für „unzureichend“. Ihrer Auffassung nach gab es Unstimmigkeiten zwischen den beiden Fall-Kontroll-Studien und einen fehlenden Zusammenhang zwischen Exposition und Reaktion in den Ergebnissen der INTERPHONE-Studie; in der dänischen Kohortenstudie (Shuz et al., 2006) wurde kein Anstieg der Inzidenz von Gliomen oder Akustikusneurinomen festgestellt, und bis zu diesem Zeitpunkt zeigten die gemeldeten Zeittrends bei den Gliom-Inzidenzraten keine Parallele zu den Zeittrends bei der Nutzung von Mobiltelefonen (Baan et al., 2011).

### ÜBERPRÜFUNG EPIDEMIOLOGISCHER STUDIEN AUS DEM ZEITRAUM 2011–2020

In der vorliegenden Überprüfung werden die epidemiologischen Studien ab 2011 nach Art der Studie und nach Jahr der Veröffentlichung (2011–2020) ausgewertet und in den Tabellen 1–4 zusammengefasst. Die Autorin fügt den kurzen Zusammenfassungen ihre eigenen kurzen Anmerkungen zu den Ergebnissen der verschiedenen Studien hinzu.

## FALL-KONTROLL-STUDIEN (Tabellen 1, a–m)

### 1. Aydin et al., 2011.

Dänemark, Schweden, Norwegen und die Schweiz. 2004–2008. Multizentrische Fall-Kontroll-Studie CEFALO.

Es wird der Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Hirntumorrisiko bei Kindern und Jugendlichen untersucht. CEFALO ist eine multizentrische Fall-Kontroll-Studie, die in Dänemark, Schweden, Norwegen und der Schweiz durchgeführt wird und alle Kinder und Jugendlichen im Alter von 7 bis 19 Jahren einschließt, bei denen zwischen den Jahren 2004 und 2008 ein Hirntumor diagnostiziert wurde. Persönliche Befragungen mit 352 Fallpatienten (Teilnahmequote: 83 %) und 646 Kontrollen (Teilnahmequote: 71 %) und ihren Eltern. Die Kontrollen wurden nach dem Zufallsprinzip aus Bevölkerungsregistern ausgewählt und nach Alter, Geschlecht und geografischer Region abgeglichen. Wir fragten nach der Nutzung von Mobiltelefonen und bezogen, soweit verfügbar, Aufzeichnungen von Mobilfunkbetreibern ein. Odds-Ratios (ORs) für das Hirntumorrisiko und 95%-Konfidenzintervalle (KI) wurden mittels bedingter logistischer Regressionsmodelle berechnet. Bei regelmäßigen Nutzern von Mobiltelefonen war die Wahrscheinlichkeit, dass bei ihnen ein Hirntumor diagnostiziert wurde, nicht statistisch signifikant höher als bei Nichtnutzern (OR = 1,36; 95%-KI = 0,92 bis 2,02). Kinder, die mindestens 5 Jahre zuvor mit der Nutzung von Mobiltelefonen begonnen hatten, wiesen im Vergleich zu Kindern, die nie regelmäßig Mobiltelefone genutzt hatten, kein erhöhtes Risiko auf (OR = 1,26, 95%-KI = 0,70 bis 2,28). Bei einer Subgruppe von Studienteilnehmern, für die von den Betreibern aufgezeichnete Daten vorlagen, hing das Hirntumorrisiko mit der Zeit zusammen, die seit Beginn des Mobilfunkvertrags verstrichen war, nicht aber mit der Intensität der Nutzung. Für die Hirnregionen mit der höchsten Exposition wurde kein erhöhtes Risiko für Hirntumoren festgestellt. Das Fehlen einer Expositions-Wirkungs-Beziehung in Bezug auf die Intensität der Mobiltelefonnutzung oder die Lage des Hirntumors spricht gegen einen kausalen Zusammenhang.

**Anmerkung: Ausmaß der Exposition nicht bewertet. Die Studie wies keine ausreichende statistische Teststärke auf, um geringfügige Risikoanstiege nachzuweisen. Mehrere RR stiegen in der höchsten Expositions-kategorie an, wenngleich dies nicht statistisch signifikant ist.**

### 2. Atzmon et al., 2012.

Israel, Diagnosen zwischen 1989 und 2007. Populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie.

Die Studie wurde initiiert, um die Behauptungen der Bewohner des Drusendorfs Isifya in Nordisrael zu überprüfen, dass ihre hohen Krebsraten mit der früheren Exposition gegenüber Radio- und Mobilfunksendern zusammenhängen. Um den Zusammenhang zwischen früherer Exposition gegenüber HF-/MW-Sendern und dem Krebsrisiko zu untersuchen, wurden die familiäre Krebsanamnese, die Exposition am Arbeitsplatz und Indikatoren der Lebensweise berücksichtigt; eine populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie mit 307 Einwohnern, bei denen zwischen 1989 und 2007 47 verschiedene Krebsarten diagnostiziert wurden, und 260 Kontrollen. Krebsdiagnosen wurden aus den Krankenakten entnommen. Der Expositionsstatus der einzelnen Häuser wurde anhand einer Karte ermittelt, die auf den Entfernungen zwischen den einzelnen Häusern und den HF-/MW-Antennen basiert und mithilfe von geografischen Informationssystemen (GIS) berechnet wurde. Daten über zusätzliche Risikofaktoren für Krebs, wie z. B. Rauchen und Exposition am Arbeitsplatz, wurden mithilfe individueller Fragebögen ermittelt. Die Analyse wurde um Messgrößen für den Lebensstil und die Exposition am Arbeitsplatz bereinigt, und es wurden binäre multiple logistische Regressionen angewendet, und zwar für alle von Krebs betroffenen Körperstellen sowie für einzelne Krebsarten, wenn der Krebs mindestens 5 dokumentierte Fälle umfasste. Für frühere Exposition am Arbeitsplatz gegenüber Chemikalien (z. B. Pestiziden) und Elektronik wurde ein enger Zusammenhang mit einem erhöhten Krebsrisiko ermittelt (alle Erkrankungsstellen: OR = 2,79; KI = 1,14–6,82;  $p < 0,05$ ), wobei jedoch kein erkennbarer Trend zu einem allgemeinen Krebsrisiko mit der Nähe zu Quellen früherer Exposition gegenüber HF-/MW-Strahlung in Verbindung gebracht wurde ( $n = 47$ , OR = 1,00; KI = 0,99–1,02;  $p > 0,4$ ). Für Kolorektalkarzinome wurde ein vernachlässigbar erhöhtes



bereinigtes Risiko im Zusammenhang mit der Strahlungsintensität festgestellt ( $n = 11$ ,  $OR = 1,03$ ;  $KI = 1,01-1,05$ ;  $p < 0,01$ ). Es gab Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für Krebserkrankungen, die mit Chemikalien in der verarbeitenden Industrie und in der Landwirtschaft sowie mit Elektronik in Verbindung gebracht wurden, wo es möglicherweise zu einer Exposition gegenüber EMF gekommen war; die Studie bestätigte jedoch für die meisten Krebsarten in diesem Dorf nicht die Vermutung eines erhöhten Krebsrisikos im Zusammenhang mit Strahlung. Eine falsche Einstufung früherer Expositionen könnte das negative Ergebnis erklären.

**Anmerkung: Es wurde keine ausreichende Messung der HF-Strahlung vorgelegt. Ergebnisse nicht schlüssig.**

### 3. Li et al., 2012.

Taiwan, 1998–2007. Populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie (Gewebsneubildungen im Kindesalter).

In dieser populationsbasierten Fall-Kontroll-Studie in Taiwan wurden Inzidenzfälle berücksichtigt, die höchstens 15 Jahre alt waren und zwischen 2003 und 2007 wegen aller Gewebsneubildungen aufgenommen wurden (ICD-9-CM: 140–239) ( $n = 2\,606$ ), einschließlich 939 Leukämie und 394 das Gehirn betreffende Fälle von Gewebsneubildungen. Die Kontrollen wurden nach dem Zufallsprinzip ausgewählt, mit einem Verhältnis für Fälle/Kontrollen von 1:30 und nach Geburtsjahr abgeglichen; die Auswahl erfolgte unter allen Kindern, die nicht an einer Gewebsneubildung litten und die in dem Jahr, in dem der Indexfall aufgenommen wurde, versichert waren. Die jährliche aufsummierte Leistung (ASP, Wattjahre) wurde jeweils für 71 185 Mobilfunkbasisstationen (MPBS) berechnet, die zwischen 1998 und 2007 in Betrieb waren. Anschließend wurde die jährliche Leistungsdichte (APD, Wattjahre/km<sup>2</sup>) jeder Gemeinde ( $n = 367$ ) als Verhältnis der gesamten ASP aller MPBS in einer Gemeinde zur Fläche dieser Gemeinde berechnet. Die Exposition jedes Studienteilnehmers gegenüber Hochfrequenzstrahlung (HF) wurde durch die gemittelte APD innerhalb von 5 Jahren vor der Diagnose der Gewebsneubildung (Fälle) oder am 1. Juli des Jahres, in dem der Indexfall aufgenommen wurde (Kontrollen), in der Gemeinde, in der der Teilnehmer lebte, angegeben. Ein unbedingtes logistisches Regressionsmodell mit einer generalisierten Schätzgleichung wurde verwendet, um für Kovariaten bereinigte Odds-Ratio [AOR] von Gewebsneubildungen im Kindesalter in Bezug auf die HF-Exposition zu berechnen. Eine über dem Median liegende durchschnittliche APD (ca. 168 Wattjahre/km<sup>2</sup>) war in signifikantem Maße mit einer erhöhten AOR für alle Gewebsneubildungen assoziiert (1,13; 1,01 bis 1,28), jedoch nicht für Leukämie (1,23; 0,99 bis 1,52) oder Gewebsneubildungen des Gehirns (1,14, 0,83 bis 1,55). In dieser Studie wurde ein signifikant erhöhtes Risiko für alle Gewebsneubildungen bei Kindern mit einer über dem Median liegenden HF-Exposition gegenüber MPBS festgestellt. Ein leicht erhöhtes Risiko wurde für Leukämie und Gewebsneubildungen des Gehirns festgestellt, war aber nicht statistisch signifikant. Diese Ergebnisse sind möglicherweise auf mehrere methodische Einschränkungen zurückzuführen.

**Anmerkung: Die Autoren räumen mehrere methodische Einschränkungen ein. Unschlüssige Studie.**

### 4. Soderqvist et al., 2012.

Schweden, 2000–2003. Fall-Kontroll-Studie.

Ziel dieser Fall-Kontroll-Studie war es, festzustellen, ob die Nutzung von Funktelefonen mit einem erhöhten Tumorrisiko an der betroffenen Stelle verbunden ist. Neunundsechzig Patienten mit Speicheldrüsentumoren (63 mit einem Tumor der Parotis) und 262 zufällig rekrutierte Kontrollen wurden einbezogen. Mittels unbedingter logistischer Regression – bereinigt um Alter bei der Diagnose, Geschlecht, Diagnosejahr und sozioökonomischen Index – wurden Odds-Ratios und 95%-Konfidenzintervalle ermittelt. Die Nutzung von Funktelefonen war nicht mit einem erhöhten Gesamtrisiko für Speicheldrüsentumoren verbunden (Odds-Ratio 0,8, 95%-Konfidenzintervall 0,4–1,5). Es gab weder ein erhöhtes Risiko für die verschiedenen Telefontypen, wenn sie getrennt berechnet wurden, noch gab es ein erhöhtes Risiko für verschiedene Latenzen oder wenn die kumulative Nutzung in drei Gruppen unterteilt wurde (1–1000, 1001–2000 und > 2000 Stunden). Die Gesamtergebnisse für das Risiko von Parotistumoren waren ähnlich. Schlussfolgernd lässt sich festhalten, dass unsere Daten die Evidenz ergänzen, dass es kein



erhöhtes Risiko für Parotistumoren bei leichter bis mäßiger Nutzung von Funktelefonen und bei einer Nutzungsdauer von weniger als 10 Jahren gibt; unsere Daten geben aber wenig Aufschluss über das Risiko bei längerer und/oder intensiver Nutzung.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition laut postalisch übermitteltem Fragebogen. Irgendein Zusammenhang zwischen Parotistumoren und leichtem bis mäßigem Gebrauch von Mobiltelefonen.**

#### 5. Carlberg et al., 2013.

Schweden, 2007–2009. Fall-Kontroll-Studie.

Es wird der Zusammenhang zwischen der Nutzung von Funktelefonen und Meningiomen untersucht. Es wird eine Fall-Kontroll-Studie über Fälle von Hirntumoren bei beiden Geschlechtern im Alter von 18 bis 75 Jahren durchgeführt, die im Zeitraum 2007–2009 diagnostiziert wurden. Für jeden Fall wurde eine nach Alter und Geschlecht abgeglichene populationsbasierte Kontrolle herangezogen. Hier berichten wir über Meningiom-Fälle einschließlich aller verfügbaren Kontrollen. Die Expositionen wurden mittels eines Fragebogens ermittelt. Es wurde eine unbedingte logistische Regressionsanalyse durchgeführt. Insgesamt beantworteten 709 Meningiom-Fälle und 1368 Kontrollen den Fragebogen. Die Nutzung von Mobiltelefonen insgesamt ergab eine Odds-Ratio (OR) von 1,0, 95%-Konfidenzintervall (KI) = 0,7-1,4. Die Nutzung von schnurlosen Telefonen ergab OR = 1,1, 95%-KI = 0,8-1,5. Das Risiko stieg statistisch signifikant pro 100 Stunden kumulativer Nutzung an, und die höchste OR wurde im vierten Quartil (> 2376 Stunden) der kumulativen Nutzung für alle untersuchten Telefontypen ermittelt. Es war kein statistisch signifikant erhöhtes Risiko für die ipsilaterale Nutzung von Mobiltelefonen oder schnurlosen Telefonen, für Meningiome im Temporallappen oder pro Jahr Latenzzeit zu verzeichnen. Es bestand kein Zusammenhang zwischen Tumolvolumen und der Latenzzeit oder der kumulativen Nutzung von Funktelefonen in Stunden. Es wurde keine schlüssige Evidenz für einen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobil- und schnurlosen Telefonen und Meningiomen gefunden. Ein Hinweis auf ein erhöhtes Risiko wurde in der Gruppe mit der höchsten kumulativen Nutzung beobachtet, wurde aber nicht durch ein statistisch signifikant steigendes Risiko mit der Latenzzeit gestützt. Ergebnisse für noch längere Latenzzeiten bei der Nutzung von Funktelefonen als in dieser Studie sind erstrebenswert.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Es wurde kein schlüssiger Zusammenhang zwischen Meningiomen und der Nutzung von Mobiltelefonen ermittelt.**

#### 6. Hardell et al., 2013a.

Schweden, 2007–2009. Fall-Kontroll-Studie.

Frühere Studien haben einen durchgängigen Zusammenhang zwischen der Langzeitnutzung von Mobil- und schnurlosen Telefonen und Gliomen und Akustikusneurinomen gezeigt, nicht aber bei Meningiomen. Ziel dieser Studie war es, den Zusammenhang zwischen der besonders langfristigen (> 10 Jahre) Nutzung von Funktelefonen und der Entstehung von bösartigen Hirntumoren weiter zu untersuchen. Es wurde eine neue Fall-Kontroll-Studie über Fälle von Hirntumoren bei beiden Geschlechtern im Alter von 18 bis 75 Jahren durchgeführt, die im Zeitraum 2007–2009 diagnostiziert wurden. Für jeden Fall wurde eine nach Alter (innerhalb einer Spanne von 5 Jahren) und Geschlecht abgeglichene populationsbasierte Kontrolle herangezogen. Es werden maligne Fälle einschließlich aller verfügbaren Kontrollen berichtet. Die Exposition, z. B. bei der Nutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen, wurde anhand eines von den Befragten selbst ausgefüllten Fragebogens ermittelt. Es wurde eine unbedingte logistische Regressionsanalyse durchgeführt, bei der unter Heranziehung der gesamten Kontrollpopulation eine Bereinigung für Alter, Geschlecht, Diagnosejahr und sozioökonomischen Index vorgenommen wurde. Von den Fällen mit einem bösartigen Hirntumor nahmen 87 % (n = 593) teil, und 85 % (n = 1368) der Kontrollen der gesamten Studie beantworteten den Fragebogen. Die Odds-Ratio (OR) für die analoge Mobiltelefonnutzung betrug 1,8, 95%-Konfidenzintervall (KI) = 1,04–3,3 und stieg mit einer Latenzzeit von > 25 Jahren (Zeit seit der ersten Exposition) auf OR = 3,3, 95%-KI = 1,6–6,9. Die Nutzung digitaler 2G-Mobiltelefone ergab eine OR = 1,6, 95%-KI = 0,996–2,7, die mit einer Latenzzeit von > 15–20 Jahren auf

eine OR = 2,1, 95%-KI=1,2–3,6 anstieg. Die Ergebnisse für die Nutzung von schnurlosen Telefonen waren OR = 1,7, 95%-KI = 1,1–2,9, und für eine Latenzzeit von 15–20 Jahren betrug die OR = 2,1, 95%-KI=1,2–3,8. Nur wenige Teilnehmer hatten ein schnurloses Telefon über einen Zeitraum von mehr als 20–25 Jahren benutzt. Digitale Funktelefone (2G- und 3G-Mobiltelefone, schnurlose Telefone) führten zu einem erhöhten Risiko bei einer Latenzzeit von > 1–5 Jahren, dann zu einem geringeren Risiko in den folgenden Latenzzeitgruppen, aber wieder zu einem erhöhten Risiko bei einer Latenzzeit von > 15–20 Jahren. Die ipsilaterale Nutzung führte zu einem höheren Risiko als die kontralaterale Nutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen. Für Tumoren im Schläfenlappen und in den überlappenden Lappen wurden höhere ORs berechnet. Bei Heranziehung der Meningiom-Fälle in derselben Studie als Referenz wurden etwas höhere ORs ermittelt, was darauf hindeutet, dass die Ergebnisse wahrscheinlich nicht durch Erinnerungs- oder Beobachtungsverzerrung erklärt werden können. Diese Ergebnisse stützen die Hypothese, dass HF-EMF sowohl in der Initiations- (Auslösungs-) als auch in der Promotions- (Förderungs-)Phase der Karzinogenese eine Rolle spielen.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Diese Studie bestätigt frühere Ergebnisse eines Zusammenhangs zwischen starker Nutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen und bösartigen Hirntumoren.**

#### 7. [Hardell et al., 2013b](#), [Hardell und Carlberg, 2015](#).

Schweden, 1997–2003 und 2007–2009. Fall-Kontroll-Studie.

Eine Fall-Kontroll-Studie zum Akustikusneurinom wurde bereits zu einem früheren Zeitpunkt von den Autoren durchgeführt. Eingeschlossen wurden Teilnehmer beider Geschlechter im Alter von 20 bis 80 Jahren, die zwischen 1997 und 2003 in Teilen Schwedens eine Diagnose erhalten hatten, und die Ergebnisse wurden veröffentlicht. Für den Zeitraum 2007–2009 wurde eine weitere Studie durchgeführt, an der sowohl Männer als auch Frauen im Alter von 18–75 Jahren aus dem gesamten Land teilnahmen. Für beide Untersuchungszeiträume wurden ähnliche Methoden angewendet. Aus dem schwedischen Bevölkerungsregister wurde jeweils eine populationsbasierte Kontrollgruppe ermittelt, die hinsichtlich Geschlecht und Alter (innerhalb einer Spanne von fünf Jahren) übereinstimmte. Die Exposition wurde anhand eines von den Befragten selbst ausgefüllten Fragebogens ermittelt, der durch eine Telefonbefragung ergänzt wurde. Da die Zahl Fälle von Akustikusneurinomen in der neuen Studie gering war, wurden zusammengefasste Ergebnisse aus beiden Studienzeiträumen auf der Grundlage von 316 teilnehmenden Fällen und 3530 Kontrollen vorgelegt. Es wurde eine unbedingte logistische Regressionsanalyse durchgeführt, bei der eine Bereinigung für Alter, Geschlecht, Diagnosejahr und sozioökonomischen Index (SEI) vorgenommen wurde. Die Nutzung von analogen Mobiltelefonen ergab eine Odds-Ratio (OR) = 2,9, 95%-Konfidenzintervall (KI) = 2,0–4,3, die mit einer Latenzzeit von > 20 Jahren (Zeit seit der ersten Exposition) auf OR = 7,7, 95%-KI = 2,8–21 anstieg. Die Nutzung digitaler 2G-Mobiltelefone ergab eine OR = 1,5, 95%-KI = 1,1–2,1, und stieg mit einer Latenzzeit von > 15 Jahren auf OR = 1,8, 95%-KI = 0,8–4,2 an. Die Ergebnisse für die Nutzung von schnurlosen Telefonen waren OR = 1,5, 95%-KI = 1,1–2,1, und für eine Latenzzeit von > 20 Jahren OR = 6,5, 95%-KI = 1,7–26. Digitale Funktelefone (2G- und 3G-Mobiltelefone und schnurlose Telefone) ergaben eine OR = 1,5, 95%-KI = 1,1–2,0, die auf OR = 8,1, 95%-KI = 2,0–32 bei einer Latenzzeit von > 20 Jahren anstieg. Für die gesamte Nutzung von Funktelefonen wurde das höchste Risiko für die längste Latenzzeit von mehr als 20 Jahren berechnet: OR = 4,4, 95%-KI = 2,2–9,0. Mehrere der Berechnungen in der Kategorie „lange Latenzzeit“ basierten auf einer geringen Anzahl von exponierten Fällen. Die ipsilaterale Nutzung führte zu einem höheren Risiko als die kontralaterale Nutzung sowohl von Mobiltelefonen als auch von schnurlosen Telefonen. Bei Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen stieg die OR pro 100 Stunden kumulativer Nutzung und pro Jahr der Latenzzeit an, wenngleich der Anstieg bei schnurlosen Telefonen statistisch nicht signifikant war. Der prozentuale Anteil des Tumorumens nahm pro Jahr der Latenzzeit und pro 100 Stunden kumulativer Nutzung zu, was für analoge Telefone statistisch signifikant ist. Diese Studie bestätigte frühere Ergebnisse, die einen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen einerseits und Akustikusneurinomen andererseits zeigten.

Es wurde eine zusammengefasste Analyse von zwei Fall-Kontroll-Studien über bösartige Hirntumoren mit Patienten durchgeführt, die in den Jahren 1997–2003 und 2007–2009 ihre Diagnose erhalten hatten. Sie waren zum Zeitpunkt der Diagnose 20–80 Jahre bzw. 18–75 Jahre alt. Es wurden nur Fälle eingeschlossen, bei denen der Tumor histopathologisch bestätigt wurde. Es wurden populationsbasierte Kontrollen herangezogen, die nach Alter und Geschlecht abgeglichen waren. Die Exposition wurde mittels eines Fragebogens ermittelt. Die gesamte Referenzgruppe wurde in der unbedingten Regressionsanalyse verwendet, bei der eine Bereinigung für Geschlecht, Alter, Diagnosejahr und sozioökonomischen Index vorgenommen wurde. Insgesamt nahmen 1 498 (89 %) Fälle und 3 530 (87 %) Kontrollen teil. Die Nutzung von Mobiltelefonen erhöhte das Risiko für Gliome, OR = 1,3, 95 %-KI = 1,1–1,6 insgesamt, mit einem Anstieg auf OR = 3,0, 95 %-KI = 1,7–5,2 in der Gruppe mit einer Latenzzeit von > 25 Jahren. Die Nutzung von schnurlosen Telefonen erhöhte das Risiko auf OR = 1,4, 95 %-KI = 1,1–1,7, wobei das höchste Risiko in der Gruppe mit einer Latenzzeit von > 15–20 Jahren mit OR = 1,7, 95 %-KI = 1,1–2,5 zu verzeichnen war. Die OR stieg statistisch signifikant an, und zwar sowohl pro 100 Stunden kumulativer Nutzung als auch pro Jahr der Latenz für die Nutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen. Die höchsten ORs wurden für die ipsilaterale Nutzung von Mobiltelefonen oder schnurlosen Telefonen gefunden, OR = 1,8, 95 %-KI = 1,4–2,2 bzw. OR = 1,7, 95 %-KI = 1,3–2,1. Das höchste Risiko wurde für Gliome im Temporallappen festgestellt. Wenn Teilnehmer im Alter von 20 Jahren erstmals ein Mobil- oder schnurloses Telefon nutzten, führte dies zu einem höheren OR für Gliome als in späteren Altersgruppen.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Diese Studien bestätigen frühere Ergebnisse, die einen Zusammenhang zwischen intensiver Nutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen einerseits und Akustikusneurinomen und Gliomen andererseits aufzeigen.**

#### 8. Coureau et al., 2014.

Frankreich, 2004–2006. CERENAT. Fall-Kontroll-Studie.

Das Ziel war es, den Zusammenhang zwischen Mobiltelefon-Exposition und primären Tumoren des Zentralnervensystems (Gliome und Meningiome) bei Erwachsenen zu analysieren. CERENAT ist eine multizentrische Fall-Kontroll-Studie, die 2004–2006 in vier Regionen Frankreichs durchgeführt wurde. Daten über die Nutzung von Mobiltelefonen wurden mithilfe eines detaillierten Fragebogens erhoben, der in einem persönlichen Gespräch ausgefüllt wurde. Zur Schätzung der bereinigten ORs und 95 %-KI wurde eine bedingte logistische Regression für abgeglichene Analysesets verwendet. Insgesamt wurden 253 Gliome, 194 Meningiome und 892 aus den lokalen Wählerverzeichnissen ausgewählte, abgegliche Kontrollen analysiert. Beim Vergleich zwischen regelmäßigen Mobiltelefonbenutzern und Nichtbenutzern wurde kein Zusammenhang mit Hirntumoren festgestellt (OR = 1,24; 95 %-KI 0,86 bis 1,77 für Gliome, OR = 0,90; 95 %-KI 0,61 bis 1,34 für Meningiome). Der positive Zusammenhang war jedoch bei den intensivsten Nutzern signifikant, wenn man die lebenslange kumulative Dauer ( $\geq 896$  Stunden, OR = 2,89; 95 %-KI 1,41 bis 5,93 für Gliome; OR = 2,57; 95 %-KI 1,02 bis 6,44 für Meningiome) und die Anzahl der Anrufe für Gliome berücksichtigt ( $\geq 18360$  Anrufe, OR = 2,10, 95 %-KI 1,03 bis 4,31). Das Risiko war höher für Gliome, Schläfentumoren sowie berufliche und städtische Nutzung von Mobiltelefonen. Diese zusätzlichen Daten stützen frühere Erkenntnisse über einen möglichen Zusammenhang zwischen intensiver Handynutzung und Hirntumoren.

**Anmerkung: Von den befragten selbst berichtete Exposition in persönlichen Befragungen durch geschultes Personal. Diese Studie bestätigt frühere Ergebnisse über einen möglichen Zusammenhang zwischen intensiver Handynutzung und bösartigen Hirntumoren.**

#### 9. Pettersson et al., 2014.

Schweden, 2002–2007. Populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie.

Es wurde eine populationsbasierte, landesweite Fall-Kontroll-Studie zu Akustikusneurinomen in Schweden durchgeführt. Infrage kamen Personen im Alter von 20 bis 69 Jahren, bei denen die Diagnose zwischen 2002 und 2007 gestellt wurde. Die Kontrollen wurden nach dem Zufallsprinzip aus dem Bevölkerungsregister ausgewählt und hinsichtlich Alter, Geschlecht und Wohngegend abgeglichen.

Postalische Fragebögen wurden von 451 Fällen (83 %) und 710 Kontrollen (65 %) ausgefüllt. Wenn zu irgendeinem Zeitpunkt im Leben jemals regelmäßig Mobiltelefone genutzt wurden (definiert als wöchentliche Nutzung über einen Zeitraum von mindestens 6 Monaten), war dies mit einer Odds-Ratio (OR) von 1,18 (95%-Konfidenzintervall = 0,88 bis 1,59) verbunden. Der Zusammenhang war schwächer für die längste Induktionszeit ( $\geq 10$  Jahre) (1,11 [0,76 bis 1,61]) und für die regelmäßige Nutzung auf der Tumorseite (0,98 [0,68 bis 1,43]). Die OR für das höchste Quartil der kumulativen Anrufdauer ( $\geq 680$  Stunden) betrug 1,46 (0,98 bis 2,17). Wurden die Analysen auf histologisch bestätigte Fälle beschränkt, reduzierte dies alle ORs; die OR für  $\geq 680$  Stunden betrug 1,14 (0,63 bis 2,07). Ein ähnliches Muster wurde bei schnurlosen Festnetztelefonen beobachtet, allerdings mit etwas höheren ORs. Die Analyse der gesamten Vorgeschichte bezüglich der Nutzung des Mobiltelefons auf den jeweiligen Körperseiten (Lateralität) ergab eine erhebliche Verzerrung in den Lateralitätsanalysen. Die Ergebnisse stützen nicht die Hypothese, dass die langfristige Nutzung von Mobiltelefonen das Risiko für die Entstehung eines Akustikusneurinoms erhöht. Die Studie legt die Vermutung nahe, dass die Nutzung von Mobiltelefonen die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass ein Akustikusneurinom entdeckt wird und dass die in früheren Studien durchgeführten Lateralitätsanalysen verzerrt sein könnten.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Schwache Evidenz für einen Zusammenhang zwischen intensiver Nutzung von Mobiltelefonen und Akustikusneurinomen.**

#### 10. Yoon et al., 2015.

Korea; 2002–2007; Fall-Kontroll-Studie.

Die Studienmethoden basierten auf der internationalen Interphone-Studie, deren Ziel es war, mögliche schädliche Auswirkungen der Mobiltelefonnutzung zu bewerten. In diese Studie wurden 285 koreanische Patienten mit histologisch bestätigter Diagnose und im Alter von 15 bis 69 Jahren aufgenommen, bei denen zwischen 2002 und 2007 in 9 Krankenhäusern Gliome diagnostiziert wurden. Bei den 285 individuell abgeglichenen Kontrollen handelte es sich um gesunde Personen, deren medizinische Untersuchungen in denselben Krankenhäusern erfolgt sind. Zur Berechnung der bereinigten Odds-Ratios (adjusted Odds Ratios, aORs) und der 95%-Konfidenzintervalle (KI) für die Nutzung von Mobiltelefonen wurde eine unbedingte logistische Regression verwendet. Für die gesamte Gruppe wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen Gliomen und der regelmäßigen Nutzung von Mobiltelefonen, der Arten von Mobiltelefonen, der Nutzungsjahre im Laufe des Lebens, der monatlichen Mobilfunkrechnung und den anderen Expositionsindizes untersucht. Analysen, die sich auf die Selbstauskunft durch die Befragten beschränken, zeigen ähnliche Ergebnisse. Bei ipsilateralen Nutzern, deren Körperseite für die übliche Handynutzung mit der Lage des Glioms übereinstimmte, betrug die aORs (95%-KI) für die Nutzungsjahre im Laufe des Lebens und die kumulativen Nutzungsstunden 1,25 (0,55 bis 2,88) bzw. 1,77 (0,32 bis 1,84). Allerdings wiesen kontralaterale Nutzer ein etwas geringeres Risiko auf als ipsilaterale Nutzer. Die Ergebnisse stützen nicht die Hypothese, dass die Nutzung von Mobiltelefonen das Risiko eines Glioms erhöht; wir stellten jedoch einen nicht signifikanten Anstieg des Risikos bei ipsilateralen Nutzern fest. Diese Ergebnisse legen nahe, dass eine weitere Untersuchung des Gliomrisikos bei Langzeit-Mobiltelefon-Nutzern angemessen ist.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Bei ipsilateralen Nutzern findet sich eine schwache Evidenz für einen Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Hirntumoren.**

#### 11. Al-Qahtani, 2016.

Saudi-Arabien; 1996–2013. Retrospektive Fall-Kontroll-Studie.

In einer krankenhausbasierten retrospektiven Fall-Kontroll-Studie wurden insgesamt 26 Patienten, bei denen ein Parotistumor diagnostiziert wurde, und 61 gesunde Kontrollen aufgenommen. Die Patienten wurden zwischen Januar 1996 und März 2013 in ein Tertiärkrankenhaus überwiesen und dort aufgenommen. Die Wahrscheinlichkeit einer Exposition war bei den Patienten im Vergleich zu den Kontrollen 3,47-mal höher. Der 95%-KI lässt vermuten, dass die wahre Odds-Ratio (OR) auf Bevölkerungsebene zwischen 1,3 und 9,23 liegen könnte, sodass die beobachtete OR bei einem Signifikanzniveau von 5 % statistisch signifikant war.



Insgesamt wurde ein Zusammenhang zwischen der Exposition durch die Nutzung von Mobiltelefonen über einen Zeitraum von mehr als 1 Stunde täglich und Parotistumoren festgestellt. Dieser Zusammenhang sollte aufgrund des relativ kleinen Stichprobenumfangs mit Vorsicht interpretiert werden.

**Anmerkung: Kleiner Stichprobenumfang; mangelhafte Methodik. Unschlüssige Studie.**

#### 12. Satta et al., 2018.

Italien; 1998–2004; Populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie im Rahmen der europäischen multizentrischen Studie EPILYMPH.

Eine Fall-Kontroll-Studie mit 322 Patienten und 444 Personen, die als Kontrollen dienten, wurde 1998–2004 in Sardinien, Italien, durchgeführt. Die Fragebögen enthielten Informationen über die selbst angegebene Entfernung der drei am längsten bewohnten Wohnadressen von ortsfesten Funk-/Fernsehdern und Mobilfunkbasisstationen. Für jede Adresse innerhalb eines 500-Meter-Radius um eine Mobilfunkbasisstation wurde die HF-EMF-Intensität anhand von Prognosen aus räumlichen Modellen geschätzt, und es wurden HF-EMF-Messungen an der Tür in der Untergruppe der am längsten bewohnten Adressen innerhalb eines 250-Meter-Radius durchgeführt. Risiko für Lymphome und ihre wichtigsten Subtypen in Verbindung mit den HF-EMF-Expositionskennzahlen mit unbedingter logistischer Regression, bereinigt um Alter, Geschlecht und Ausbildungsjahre. Das Risiko, das mit einem Wohnsitz in der Nähe (innerhalb von 50 Metern) von ortsfesten Funk-/Fernsehdern verbunden ist, war gleichermaßen für Lymphome insgesamt [Odds-Ratio = 2,7, 95%-Konfidenzintervall = 1,5–4,6] als auch für die wichtigsten Lymphom-Subtypen erhöht. In Bezug auf Mobilfunkbasisstationen konnten die Autoren weder einen Zusammenhang mit der von den Befragten selbst berichteten noch mit der geocodierten Entfernung zu Mobilfunkbasisstationen feststellen. Die HF-EMF-Messungen unterschieden sich nicht nach Status (Fall oder Kontrolle). Beim Vergleich der Selbstauskünfte mit den geocodierten Daten zeigte sich, dass die Fälle die Entfernung zu den Mobilfunkbasisstationen im Vergleich zu den Kontrollen tendenziell unterschätzten ( $p = 0,073$ ). Die Interpretation der Ergebnisse wird durch den begrenzten Umfang der Studie, insbesondere bei der Analyse der einzelnen Lymphom-Subtypen, und durch die fehlenden räumlichen Koordinaten der Funk-/Fernsehdern erschwert. Dennoch unterstützen unsere Ergebnisse nicht die Hypothese, dass ein Zusammenhang zwischen der Umweltexposition gegenüber HF-EMF durch Mobilfunkbasisstationen und dem Risiko von Lymphom-Subtypen besteht.

**Anmerkung: Begrenzter Umfang der Studie, Expositionsbeurteilung unklar (Fernfeld, Funkbasisstationen). Die Studie unterstützt nicht die Hypothese, dass ein Zusammenhang zwischen der Umweltexposition gegenüber HF-EMF durch Mobilfunkbasisstationen und dem Risiko von Lymphom-Subtypen besteht.**

#### 13. Balekouzou et al., 2017.

Zentralafrika. Fall-Kontroll-Studie.

In den Entwicklungsländern ist Brustkrebs als ein großes Problem der öffentlichen Gesundheit anerkannt; es gibt jedoch nur sehr wenige Hinweise auf verhaltensbezogene Faktoren, die mit dem Brustkrebsrisiko in Verbindung stehen. Diese Studie wurde durchgeführt, um Lebensweisen als Risikofaktoren für Brustkrebs bei zentralafrikanischen Frauen zu ermitteln. Es wurde eine Fall-Kontroll-Studie mit 174 Fällen, die von der Pathologieabteilung des nationalen Labors histologisch bestätigt wurden, und 348 in Bezug auf das Alter abgeglichenen Kontrollen durchgeführt. Zu den Datenerhebungsinstrumenten gehörten ein Fragebogen mit Befragungen und Krankenakten der Patienten. Die Daten wurden mit Version 20 der SPSS-Software ausgewertet. Die Odds-Ratio (OR) und 95%-Konfidenzintervalle (95%-KI) wurden durch unbedingte logistische Regression ermittelt. Insgesamt wurden 522 Frauen mit einem Durchschnittsalter von 45,8 (SD = 13,4) Jahren untersucht. Gemäß dem unbedingten logistischen Regressionsmodell wiesen Frauen mit Brustkrebs mit höherer Wahrscheinlichkeit die folgenden Merkmale auf: Analphabeten- und Grundschul-Bildungsniveau [11,23 (95%-KI, 4,65±27,14) und 2,40 (95%-KI, 1,15±4,99)], verheiratet [2,09 (95%-KI, 1,18±3,71)], positive Familienanamnese [2,31 (95%-KI, 1,36±3,91)], Strahlenbelastung [8,21 (95%-KI, 5,04±13,38)], Konsum von Wurstwaren [10,82 (95%-KI, 2,39±48,90)], Konsum von Frischfisch [4,26

(95%-KI, 1,56±11,65)], Konsum von Erdnüssen [6,46 (95%-KI, 2,57±16,27)], Konsum von Sojabohnen [16,74 (95%-KI, 8,03±39,84)], Konsum von Alkohol [2,53 (95%-KI, 1,39±4,60)], die Gewohnheit, Geld in BHs aufzubewahren [3,57 (95%-KI, 2,24±5,69)], Übergewicht [5,36 (95%-KI, 4,46±24,57)] und Fettleibigkeit [3,11 (95%-KI, 2,39±20,42)]. Ein geringeres Brustkrebsrisiko war hingegen mit Berufstätigkeit [0,32 (95%-KI, 0,19±0,56)], einem städtischen Wohnsitz [0,16 (95%-KI, 0,07±0,37)], dem Konsum von Erdnussöl [0,05 (95%-KI, 0,02±0,14)], Weinkonsum [0,16 (95%-KI, 0,09±0,26)], der Gewohnheit, das Mobiltelefon nicht im BH aufzubewahren [0,56 (95%-KI, 0,35±0,89)] und körperlicher Aktivität [0,71 (95%-KI, 0,14±0,84)] assoziiert. Die Studie zeigte, dass geringe oder keine Bildung, Verheiratetsein, eine positive Krebsanamnese in der Familie, Strahlenbelastung, der Konsum von Wurstwaren, frischem Fisch, Erdnüssen, Sojabohnen und Alkohol, die Angewohnheit, Geld in BHs aufzubewahren, Übergewicht und Fettleibigkeit mit dem Brustkrebsrisiko zentralafrikanischer Frauen, die in Bangui leben, verbunden waren. Frauen, die in Bangui leben, sollten mehr Vorsicht walten lassen, was das verhaltensbedingte Risiko von Brustkrebs angeht.

**Anmerkung: Einschränkungen bei der Selbstauskunft. Viele Störfaktoren. Schlüssiges Ergebnis für einen Zusammenhang zwischen der Aufbewahrung von Mobiltelefonen in BHs und Brustkrebs.**

#### 14. Vila et al., 2018.

Australien, Kanada, Frankreich, Deutschland, Israel, Neuseeland und das Vereinigte Königreich; 2000–2004; INTEROCC-Studie: internationale Fall-Kontroll-Studie über Mobiltelefon-Nutzung und Hirntumorrisiko in sieben Ländern.

Diese Studie untersucht den Zusammenhang zwischen der Exposition am Arbeitsplatz gegenüber HF und Zwischenfrequenzen (Intermediate Frequencies, IF) und dem Hirntumorrisiko (Gliom und Meningiom) in der multinationalen populationsbasierten Fall-Kontroll-Studie INTEROCC (mit fast 4 000 Fällen und über 5 000 Kontrollen) unter Verwendung eines neuen Expositionsbewertungsansatzes. Individuelle Indizes der kumulativen Exposition gegenüber HF- und IF-EMF (insgesamt und in bestimmten Expositionszeiträumen) wurden den Studienteilnehmern anhand einer Quellen-Expositions-Matrix und detaillierter Befragungsdaten über die Arbeit an oder in der Nähe von EMF-Quellen zugeordnet. Mithilfe der bedingten logistischen Regression wurde der Zusammenhang mit dem Risiko für Gliome und Meningiome untersucht. Insgesamt waren etwa 10 % der Studienteilnehmer HF ausgesetzt, während nur 1 % IF-EMF ausgesetzt waren. Es gab keine eindeutige Evidenz für einen positiven Zusammenhang zwischen HF- oder IF-EMF und den untersuchten Hirntumoren, wobei die meisten Ergebnisse entweder keinen Zusammenhang oder Odds-Ratios (ORs) unter 1,0 zeigten. Die größten bereinigten ORs wurden für die kumulative Exposition gegenüber HF-Magnetfeldern (als A/m-Jahre) in der höchsten Expositions-kategorie ( $\geq 90$ . Perzentil) für den am kürzesten zurückliegenden Expositionszeitraum (1–4 Jahre vor der Diagnose oder dem Referenzdatum) sowohl für Gliome (OR = 1,62; 95%-Konfidenzintervall (KI): 0,86, 3,01) als auch für Meningiome (OR = 1,52; 95%-KI: 0,65, 3,55) ermittelt. Trotz des verbesserten Expositionsbewertungsansatzes, der in dieser Studie verfolgt wurde, konnten keine eindeutigen Zusammenhänge festgestellt werden. Die Ergebnisse einer kürzlichen Exposition gegenüber elektrischen und magnetischen HF-Feldern weisen jedoch auf eine mögliche Rolle bei der Förderung/Progression von Hirntumoren hin und sollten eingehender untersucht werden.

**Anmerkung: Die Studie legt eine potenzielle Rolle bei der Förderung/Progression von Hirntumoren nahe.**

#### 15. Luo et al., 2019.

USA. 2010–2011. Populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie.

Ziel dieser Studie ist es, den Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Krebserkrankungen der Schilddrüse zu untersuchen. Zwischen 2010 und 2011 wurde in Connecticut in den USA eine populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie durchgeführt, an der 462 histologisch bestätigte Schilddrüsenkrebsfälle und 498 populationsbasierte Kontrollen teilnahmen. Die multivariate unbedingte logistische Regression wurde zur Schätzung der Odds-Ratios (OR) und der 95%-Konfidenzintervalle (95-

%-KI) für den Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Schilddrüsenkrebs angewendet. Die Nutzung von Mobiltelefonen war nicht mit Schilddrüsenkrebs assoziiert (OR: 1,05, 95%-KI: 0,74–1,48). Ein suggestiver Anstieg des Risikos für Schilddrüsenmikrokarzinome (Tumorgöße  $\leq 10$  mm) wurde bei Langzeit- und häufigen Nutzern beobachtet. Im Vergleich zu Personen, die keine Mobiltelefone nutzten, hatten mehrere Gruppen ein statistisch nicht signifikant erhöhtes Risiko für Mikrokarzinome der Schilddrüse: Personen, die  $> 15$  Jahre lang ein Mobiltelefon genutzt hatten (OR: 1,29, 95%-KI: 0,83–2,00), Personen, die täglich  $> 2$  Stunden lang ein Mobiltelefon genutzt hatten (OR: 1,40, 95%-KI: 0,83–2,35), Personen, die die höchste Anzahl kumulativer Nutzungsstunden aufwiesen (OR: 1,58, 95%-KI: 0,98–2,54), Personen, die die höchste kumulative Anzahl von Anrufen aufwiesen (OR: 1,20, 95%-KI: 0,78–1,84). Die kumulative Nutzung von Mobiltelefonen wurde geschätzt, indem die Stunden oder Anrufe pro Tag mit der Dauer der Nutzung multipliziert wurden. Jede Variable wurde basierend auf ihrer Verteilung bei den Kontrollen in Terzile eingeteilt. In dieser Studie wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Krebserkrankungen der Schilddrüse festgestellt. Ein vermutetes erhöhtes Risiko für Schilddrüsenmikrokarzinome bei langfristiger und häufigerer Nutzung rechtfertigt weitere Untersuchungen.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Es wurde zwar kein signifikanter Zusammenhang, aber ein suggestives erhöhtes Risiko für Schilddrüsenmikrokarzinome bei Langzeit- und häufiger Nutzung festgestellt.**

## ÖKOLOGISCHE STUDIEN (Tabelle 2,a)

### 16. Gonzalez Rubio et al., 2017.

Spanien. 2012–2015. Ökologische Fall-Kontroll-Studie.

In diesem Papier werden die Ergebnisse einer vorläufigen epidemiologischen Studie vorgestellt, in der Epidemiologie, Statistik und geografische Informationssysteme (GIS) kombiniert wurden. Dabei wurde die Korrelation zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF in der Stadt Albacete (166 000 Einwohner, Südostspanien) und der Inzidenz verschiedener Krebsarten mit unspezifischen Ursachen (Lymphome und Hirntumoren) analysiert. Es wurden statistische Instrumente zur Analyse der räumlichen Punktmuster und zur Aggregation der Daten verwendet, um die räumliche Zufälligkeit zu untersuchen und die Regionen mit der höchsten Inzidenz von 95 untersuchten Tumoren (65 Lymphome, 12 Gliome und 18 Meningiome) zu bestimmen. Eine Studie zur (Spearman-)Korrelation zwischen der persönlichen Exposition gegenüber HF-EMF in 14 Frequenzbändern, die von einem Exposimeter des Typs EME Spy 140 (Satimo) in den Verwaltungsbezirken der Stadt aufgezeichnet wurde, und dem Auftreten der von Januar 2012 bis Mai 2015 registrierten Tumoren. Die untersuchten Krebsfälle weisen eine zufällige räumliche Verteilung innerhalb der Stadt auf. Andererseits zeigt eine ökologische Studie, dass die in der Stadt Albacete registrierte Exposition gegenüber HF-EMF kaum mit dem Auftreten der untersuchten Tumoren (Gliome ( $\rho = 0,15$ ), Meningiome ( $\rho = 0,19$ ) und Lymphome ( $\rho = -0,03$ )) korreliert. Die vorgeschlagene Methodik eröffnet einen bisher unerforschten Analyseweg in diesem Bereich.

**Anmerkung: Geringe Korrelation zwischen Umweltexposition gegenüber HF-EMF und Gliomen, Meningiomen und Lymphomen. Expositionsbewertung unklar.**

## KOHORTENSTUDIEN (Tabellen 3, a–d)

### 17. Freiet al., 2011.

Dänemark. Personen mit und ohne Mobilfunkverträge oder Nutzung von Prepaid-Karten vor 1995.

Alle Dänen im Alter von  $\geq 30$  Jahren, die nach 1925 in Dänemark geboren wurden, unterteilt in Personen mit und ohne Mobilfunkverträge oder Nutzung von Prepaid-Karten vor 1995. Die Hauptergebnisgröße war das Risiko von Tumoren des zentralen Nervensystems, ermittelt aus dem vollständigen dänischen Krebsregister. Geschlechtsspezifische Inzidenzraten, geschätzt mit logarithmischen Poisson-Regressionsmodellen, bereinigt um Alter, Kalenderzeitraum, Bildungsniveau und verfügbares Einkommen.



Das Ergebnis: 358 403 Nutzer mit Mobilfunkverträgen oder Nutzen von Prepaid-Karten haben 3,8 Millionen Personenjahre angesammelt. Im Nachbeobachtungszeitraum 1990–2007 waren 10 729 Fälle von Tumoren des zentralen Nervensystems zu verzeichnen. Das Risiko für solche Tumoren lag sowohl bei Männern als auch bei Frauen nahe bei eins. Bei Beschränkung auf Personen mit der längsten Mobiltelefon-Nutzung, d. h.  $\geq 13$  Jahre, betrug das Inzidenzratenverhältnis 1,03 (95%-Konfidenzintervall 0,83 bis 1,27) bei Männern und 0,91 (0,41 bis 2,04) bei Frauen. Bei denjenigen, die seit 10 oder mehr Jahren einen Mobilfunkvertrag hatten oder Nutzer einer Prepaid-Karte waren, betrug das Verhältnis 1,04 (0,85 bis 1,26) bei Männern und 1,04 (0,56 bis 1,95) bei Frauen für Gliome und 0,90 (0,57 bis 1,42) bei Männern und 0,93 (0,46 bis 1,87) bei Frauen für Meningiome. Es gab keinen Hinweis auf eine Dosis-Wirkungs-Beziehung, weder nach den Jahren seit dem ersten Mobilfunkvertrag oder der ersten Nutzung einer Prepaid-Karte noch nach der anatomischen Lage des Tumors, d. h. in den Hirnregionen, die der Stelle am nächsten liegen, an der das Mobilgerät normalerweise an den Kopf gehalten wird. Schlussfolgerungen: In dieser aktualisierten Fassung einer großen landesweiten Kohortenstudie über die Nutzung von Mobiltelefonen wurde kein erhöhtes Risiko für Tumoren des zentralen Nervensystems festgestellt, sodass es kaum Evidenz für einen kausalen Zusammenhang gibt.

**Anmerkung: Einschränkungen bei der Expositionsbeurteilung. Kein erhöhtes Risiko für Tumoren des zentralen Nervensystems.**

#### 18. Benson et al., 2013.

Vereinigtes Königreich. Million Women Study. 1999–2005 und 2005–2009. Prospektive Kohortenstudie.

Der Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und der Inzidenz von intrakraniellen Tumoren des zentralen Nervensystems (ZNS) und anderen Krebsarten wurde bei 791 710 Frauen mittleren Alters in einer prospektiven Kohortenstudie im Vereinigten Königreich, der Million Women Study, untersucht. Zur Schätzung der bereinigten relativen Risiken (RR) und der 95%-Konfidenzintervalle (KI) wurden Cox-Regressionsmodelle angewendet. Frauen meldeten die Nutzung von Mobiltelefonen in den Jahren 1999 bis 2005 und erneut im Jahr 2009. Ergebnisse: Während der 7-jährigen Nachbeobachtungszeit traten 51 680 invasive Krebsfälle und 1 261 intrakranielle ZNS-Tumoren auf. Das Risiko für intrakranielle ZNS-Tumoren (RR = 1,01, 95%-KI = 0,90–1,14,  $p = 0,82$ ), für bestimmte ZNS-Tumorarten und für Krebs an 18 anderen spezifizierten Stellen war bei Personen, die zu irgendeinem Zeitpunkt in der Vergangenheit Mobiltelefone genutzt hatten, im Vergleich zu Personen, die niemals Mobiltelefone genutzt hatten, nicht erhöht. Beim Vergleich von Langzeitnutzern zu Nie-Nutzern gab es keinen nennenswerten Zusammenhang mit Gliomen (10+ Jahre: RR = 0,78, 95%-KI = 0,55–1,10,  $P = 0,16$ ) oder Meningiomen (10+ Jahre: RR = 1,10, 95%-KI = 0,66–1,84,  $p = 0,71$ ). Im Hinblick auf Akustikusneurinome stieg das Risiko bei Langzeitnutzung im Vergleich zur Nie-Nutzung (10+ Jahre: RR = 2,46, 95%-KI = 1,07– 5,64,  $p = 0,03$ ), wobei das Risiko mit der Dauer der Nutzung stieg (Trend bei Nutzern,  $p = 0,03$ ). Schlussfolgerungen: In dieser groß angelegten prospektiven Studie wurde die Nutzung von Mobiltelefonen nicht mit einer erhöhten Inzidenz von Gliomen, Meningiomen oder Nicht-ZNS-Krebserkrankungen in Verbindung gebracht.

**Anmerkung: Von den Befragten selbstberichtete Exposition. Im Hinblick auf Akustikusneurinome stieg das Risiko bei Langzeitnutzung im Vergleich zur Nie-Nutzung; wobei das Risiko mit der Dauer der Nutzung stieg.**

#### 19. Poulsen et al., 2013.

Dänemark, 1982–1995, Nachbeobachtung bis 2007. Kohortenstudie: CANULI-Studie zu sozialer Ungleichheit und Inzidenz und Überleben von Krebserkrankungen.

In einer landesweiten Kohortenstudie wurden 355 701 Privatpersonen mit Mobilfunkverträgen oder Nutzung von Prepaid-Karten in Dänemark aus den Jahren 1987 bis 1995 bis zum Jahr 2007 nachbeobachtet. Wir berechneten Inzidenzratenverhältnisse (IRRs) für Melanome, Basalzellkarzinome und Plattenepithelkarzinome anhand von Poisson-Regressionsmodellen, die nach Alter, Kalenderzeitraum,

Bildungsniveau und Einkommen bereinigt wurden. Es wurden getrennte IRRs für Kopf-/Halstumoren und Rumpf-/Beintumoren verglichen (IRR-Verhältnisse), um potenziellen Störfaktoren besser Rechnung zu tragen. Dabei beobachteten wir kein erhöhtes Gesamtrisiko für Basalzellkarzinome, Plattenepithelkarzinome oder Melanome im Kopf- und Halsbereich. Nach einer Nachbeobachtungszeit von mindestens 13 Jahren blieben die IRRs für Basalzellkarzinome und Plattenepithelkarzinome nahezu gleich. Bei Männern lag nach einer Nachbeobachtungszeit von mindestens 13 Jahren das IRR für Melanome im Kopf- und Halsbereich bei 1,20 (95%-Konfidenzintervall: 0,65, 2,22), während das entsprechende IRR für Rumpf und Beine 1,16 betrug (95%-Konfidenzintervall: 0,91, 1,47), woraus sich ein IRR-Verhältnis von 1,04 ergibt (95%-Konfidenzintervall: 0,54, 2,00). Bei Frauen wurde ein ähnliches Risikomuster festgestellt, wenngleich dieses auf kleineren Zahlen beruhte. In dieser großen, populationsbasierten Kohortenstudie wurden nur wenige Hinweise auf ein erhöhtes Hautkrebsrisiko bei Mobiltelefonnutzern festgestellt.

**Anmerkung: Ausmaß der Exposition nicht bewertet. Es wurde kaum Evidenz für ein erhöhtes Hautkrebsrisiko bei Mobiltelefonnutzern gefunden.**

#### 20. Hauri et al., 2014.

Schweiz. 2000–2008. Zensus-basierte Kohortenstudie (Fernfeld, Funkbasisstationen).

Es wurde der Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) von Rundfunksendern und Krebs bei Kindern untersucht. Es wurde eine Analyse der Zeitdauer bis zum Auftreten eines Ereignisses durchgeführt, die Kinder unter 16 Jahren einschloss, die am 5. Dezember 2000 in der Schweiz lebten. Die Nachbeobachtung dauerte bis zum 31. Dezember 2008. Alle Kinder, die zwischen 1985 und 2008 für einige Zeit in der Schweiz lebten, wurden in eine Inzidenzdichte-Kohorte aufgenommen. Es erfolgte eine Modellierung der HF-EMF-Exposition durch Rundfunksender. Auf der Grundlage von 997 Krebsfällen betrug die bereinigten Hazard-Ratios in der Analyse der Zeitdauer bis zum Auftreten eines Ereignisses für die höchste Expositions-kategorie ( $> 0,2$  V/m) im Vergleich zur Referenzkategorie ( $< 0,05$  V/m) 1,03 (95%-Konfidenzintervall (KI): 0,74, 1,43) für alle Krebsarten, 0,55 (95%-KI: 0,26, 1,19) für Leukämie im Kindesalter und 1,68 (95%-KI: 0,98, 2,91) für Tumoren des zentralen Nervensystems (ZNS) im Kindesalter. Die Ergebnisse der Inzidenzdichteanalyse auf der Grundlage von 4 246 Krebsfällen waren für alle Krebsarten und Leukämie ähnlich, deuteten aber nicht auf ein ZNS-Tumorrisiko hin (Inzidenzratenverhältnis = 1,03, 95%-KI: 0,73, 1,46). Diese große Zensus-basierte Kohortenstudie ergab keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen der vorhergesagten HF-EMF-Exposition durch Rundfunk und Leukämie im Kindesalter. Die Ergebnisse zu ZNS-Tumoren waren weniger konsistent, aber die umfassendste Analyse ergab keinen Zusammenhang.

**Anmerkung: Einschränkungen bei der Bewertung der Exposition in Wohngebieten. Es wird kein Zusammenhang zwischen HF-EMF und Krebs bei Kindern vermutet.**

Tabelle 1 – Krebs in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (a)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)		Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen				
<b>1. Aydin et al. 2011.</b> Dänemark, Schweden, Norwegen und die Schweiz; 2004–2008; CEFALO – Multizentrische Fall-Kontroll-Studie.	352 Fälle; 646 populationsbasierte, abgeglichene Kontrollen (M und W). Alter 7–19 Jahre. Daten aus Berichten von pädiatrischen, onkologischen und neurochirurgischen Abteilungen sowie aus nationalen populationsbasierten Registern.	Nutzung von Mobiltelefonen, bewertet durch persönliche Befragungen mit den Teilnehmern und ihren Eltern.	Nutzung von Mobiltelefonen.	Intrakranielle Tumoren des zentralen Nervensystems.	<b>Die Odds-Ratio (OR) und die 95%-Konfidenzintervalle (95%-KI) wurden mittels bedingter logistischer Regression ermittelt. Trend aus zweiseitigem Wald-Test; OR (95%-KI) für Hirntumoren</b>	<b>p-Wert für Trend</b>	Bildung, Krebsfälle in der Familienanamnese, frühere medizinische Strahlenexposition des Kopfes, Rauchen der Mutter während der Schwangerschaft, frühere Kopfverletzungen, Verwendung von Babyfonen in der Nähe des Kopfes, Verwendung von schnurlosen Telefonen, Kontakt mit Tieren, Ort, an dem das Kind zuvor gelebt hat, Alter, Vorhandensein von Geschwistern, Geburtsgewicht, Frühgeburt, jemals von einem Arzt diagnostiziertes Asthma, jemals von einem Arzt diagnostiziertes atopisches Ekzem und jemals von einem Arzt diagnostizierter Heuschnupfen.	Ausreichend / Mehrdeutig (Hirntumor)  Kinder und Jugendliche				
			<i>Regelmäßige Nutzung (mindestens einmal pro Woche, &gt; 6 Monate)</i>									
			Nein						1,0 (Ref.)			
			Ja						1,36 (0,92–2,02)			
			<i>Zeit seit erster Nutzung (Jahre)</i>									
			Niemals regelmäßiger Nutzer						1,0 (Ref.)	0,37		
			≤ 3,3						1,35 (0,89 bis 2,04)			
			3,3–5,0						1,47 (0,87 bis 2,49)			
			> 5,0						1,26 (0,70 bis 2,28)			
			<i>Kumulative Dauer der Anrufe (Stunden)</i>									
			Niemals regelmäßiger Nutzer						1,0 (Ref.)	0,42		
			≤ 35						1,33 (0,89 bis 2,01)			
			36–144						1,44 (0,85 bis 2,44)			
> 144		1,55 (0,86 bis 2,82)										

Tabelle 1 – Krebs in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung b)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)					Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen	
<b>2. Atzmon et al 2012.</b> Israel, Diagnosen zwischen 1989 und 2007. Populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie/ Bei der vorliegenden Analyse handelt es sich um eine retrospektive Nachbeobachtungsstudie zum Zeitpunkt der Diagnose.	307 Teilnehmer, davon 47 Fälle (M und W), medianes Alter 48. Fälle aus medizinischen Unterlagen mit bestätigter Krebsdiagnose. Persönliche Befragungen am Wohnsitz des Teilnehmers.	Exposition gegenüber (Mobil-)Funksendern, die sich vor dem Jahr 2000 im Ort befanden. Die individuelle Exposition (E) wurde mittels der folgenden Formel geschätzt: $E=1/D^2$ , wobei D (Distance) die Entfernung (in Metern) zwischen einem Haus und dem nächstgelegenen Sender ist.	Individuelle Exposition und Dauer des Wohnsitzes in Jahren.	Krebs: Kolorektalkarzinom (11), Brustkrebs (10), Lymphom (6), Leukämie (3), Lungenkrebs (2), Uteruskarzinom (2), Leberkrebs (2), Magenkrebs (2), Eierstockkrebs (2), Bauchspeicheldrüsenkrebs (2), Prostatakrebs (2), Zervixkarzinom (1), Hirntumor (1) und Blasenkrebs (1). Odds-Ratios und Konfidenzintervalle (OR, 95%-KI) aus dem binären logistischen Regressionsmodell.	<b>OR (95%-KI), Kolorektalkarzinom</b>	<b>OR (95%-KI), Lymphom</b>	<b>OR (95%-KI), Uteruskarzinom</b>	<b>OR (95%-KI), Prostatakrebs</b>	<b>OR (95%-KI), Hirntumor</b>	Dauer des Wohnsitzes in demselben Haus; Alkoholkonsum; Ernährungsgewohnheiten; Häufigkeit körperlicher Aktivität; Nutzung von Mobiltelefonen; Exposition gegenüber drahtlosen Geräten im Haus; Anwendung von oralen Empfängnisverhütungsmitteln oder Hormonersatztherapien und Einkommen	<b>Unzureichend</b>	
			<i>Strahlungsintensität</i>		1,03 (1,01–1,05)	0,95 (0,86–1,06)	0,99 (0,91–1,07)	1,67 (0,04–61,04)	12,45 (0,34–453,54)			<b>Keine geeignete Messgröße für die HF-Exposition</b>
			<i>Jahre der Exposition gegenüber Strahlung</i>		0,97 (0,877–1,082)	0,95 (0,82–1,11)	1,12 (0,88–1,42)	0,97 (0,86–1,10)	0,96 (0,84–1,11)			

Tabelle 1 – Krebs in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung c)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)			Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen	
					OR (95%-KI) für alle Gewebsneubildungen	OR (95%-KI) für Leukämie	OR (95%-KI) für Gewebsneubildungen des Gehirns			
<b>3. Li et al. 2012.</b> Taiwan; 2003–2007; Populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie.	2 606 Fälle von Gewebsneubildungen im Kindesalter (M und W), 78 180 abgeglichene Kontrollen (939–28 170 für Leukämie; 394–11 820 für Gewebsneubildungen des Gehirns). Alter < 15 Jahre. Klinische Daten aus der National Health Insurance Research Database (NHIRD).	Die Kennzahl für die HF-Exposition wurde anhand der gemittelten jährlichen Leistungsdichte für den Fünfjahreszeitraum vor der Diagnose der Gewebsneubildung in der Gemeinde, in der die Person zum Zeitpunkt der Diagnose der Gewebsneubildung lebte, geschätzt. Informationen über MPBS vom Taiwan National Communication Council (NCC).	Exposition ggü. Mobilfunkbasisstationen (MPBS): 800–900 MHz; 1 800–2 200 MHz. Geschätzte APD	Alle Gewebsneubildungen; Leukämie; Gewebsneubildungen des Gehirns. Die Odds-Ratio (OR) und die 95%-Konfidenzintervalle (95%-KI) wurden mittels mehrerer Modelle für bedingte logistische Regression ermittelt.				Alter, Geschlecht, Kalenderjahr der Diagnose der Gewebsneubildung, Grad der Urbanisierung der Gemeinde und Dichte der Hochspannungsleitungen (69/161/345 kV) in der Gemeinde.  Einschränkungen bei der Expositionsbewertung	Unzureichend	
					<i>Expositionshöhe (im Vergleich zum Median = 167,02 Wattjahre/km2)</i>					
					< Median	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)			1,00 (Ref.)
					≥ Median	1,13 (1,01–1,28)	1,23 (0,99–1,52)			1,14 (0,83–1,55)
<i>p-Wert</i>	0,048	0,052	0,426							
<b>4. Soderqvist et al. 2012.</b> Schweden, 2000–2003. Fall-Kontroll-Studie.	78 Fälle; 312 Kontrollen (M und W), Alter 22–80, Median 69. Die Patienten wurden wie vom regionalen Onkologiezentrum von Uppsala/Orebro und Linköping rekrutiert, was neun von 21 schwedischen Bezirken umfasste. Die Kontrollen wurden nach dem Zufallsprinzip aus dem Bevölkerungsregister herangezogen.	Nutzung von Funktelefonen, d.h. sowohl von Mobiltelefonen als auch von schnurlosen Telefonen. Von den Befragten selbst berichtete Exposition laut postalisch übermitteltem Fragebogen.	Die kumulierte Anzahl der Nutzungsstunden wurde anhand der Anzahl der Jahre und der durchschnittlichen Nutzungszeit pro Tag berechnet. Die kumulativen Nutzungsstunden wurden darüber hinaus in drei Gruppen unterteilt: 1–1000, 1001–2000 und mehr als 2000 Stunden. Die Nutzung von Funktelefonen innerhalb eines Jahres vor der Diagnose wurde als nicht exponiert behandelt.	Speicheldrüsentumor. Die Odds-Ratios und die 95%-Konfidenzintervalle wurden mittels unbedingter logistischer Regression ermittelt.				Keine Informationen verfügbar  Einschränkungen bei der Expositionsbewertung	Unzureichend	
					<i>Kumulative Nutzung (Stunden)</i>					
					Unexponiert	1 (Ref.)	1 (Ref.)			1 (Ref.)
1–1000	0,9 (0,4–1,7)	0,6 (0,3–1,3)	0,8 (0,5–1,6)							

			1001-2000		0,7 (0,1-3,6)	1,2 (0,2-7,8)	0,7 (0,2-2,7)		
--	--	--	-----------	--	---------------	---------------	---------------	--	--

Tabelle 1 – Krebs in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung d)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)				Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen					
<b>5. Carlborg et al. 2013.</b> Schweden; 2007–2009; Fall-Kontroll-Studie.	709 Fälle; 1368 populationsbasierte, abgeglichene Kontrollen (M und W). Alter 18–75 Jahre. Daten aus einem Krebsregister.	Nutzung von Funktelefonen (Mobiltelefone und schnurlose Telefone), ermittelt anhand eines von den Befragten selbst beantworteten strukturierten Telefon-Fragebogens.	Nutzung von Mobiltelefonen (UMTS, 4G); Nutzung von schnurlosen Telefonen (1 900 MHz).	Meningiom. Die Odds-Ratio (OR) und die 95%-Konfidenzintervalle (95%-KI) wurden mittels unbedingter logistischer Regression ermittelt.	<b>OR (95%-KI) für Meningiome, digital (2G)</b>	<b>OR (95%-KI) für Meningiome, digital (UMTS, 3G)</b>	<b>OR (95%-KI) für Meningiome, schnurloses Telefon</b>	<b>OR (95%-KI) für Meningiome, digitaler Typ</b>	Geschlecht, Alter, Jahr der Diagnose, sozioökonomischer Index (SEI).	Ausreichend/Positiv (Meningiom)					
			<i>Kumulative Nutzung von Funktelefonen (Stunden)</i>												
			< 39–405	1,0 (0,7–1,4)							0,7 (0,3–1,3)	1,0 (0,7–1,4)	1,1 (0,8–1,6)		
			406–1091	1,0 (0,7–1,5)							0,4 (0,1–1,2)	0,9 (0,6–1,3)	0,9 (0,6–1,3)		
			1 092–2 376	0,9 (0,6–1,4)							0,6 (0,2–1,8)	1,2 (0,8–1,8)	0,9 (0,6–1,3)		
			> 2 376	1,5 (0,9–2,3)							7,3 (1,2–46)	1,8 (1,2–2,8)	1,4 (0,96–2,6)		
			<i>p für Trend</i>	0,06							0,04	0,0003	0,002		
<b>6. Hardell et al. 2013a.</b> Schweden, 2007–2009. Fall-Kontroll-Studie.	593 Fälle, 1 368 Kontrollen (M und W), Alter 18–75. Neu diagnostizierte Hirntumorfälle aus den regionalen und nationalen schwedischen Krebsregistern. Zur Ermittlung der Kontrollen wurde das schwedische Bevölkerungsregister herangezogen.	Nutzung von Funktelefonen, d. h. sowohl von Mobiltelefonen als auch von schnurlosen Telefonen. Die durch die Befragten selbst berichtete Exposition wurde anhand eines von den Befragten selbst ausgefüllten Fragebogens ermittelt, der durch eine Telefonbefragung ergänzt wurde.	Häufigkeit der Nutzung; Dauer der Exposition.	Bösartige Hirntumoren. Die Odds-Ratio (OR) und das 95%-Konfidenzintervall (95%-KI) wurden mittels unbedingter logistischer Regressionsanalyse ermittelt.	<b>OR (95%-KI) für Nutzung von Mobiltelefonen (analog, 2G, 3G)</b>	<b>OR (95%-KI) für Nutzung von digitalen Telefonen (2G, 3G, schnurlos)</b>	<b>OR (95%-KI) für alle Funktelefone</b>	Berufliche Vorgeschichte, Exposition gegenüber verschiedenen Agentien, Rauchgewohnheiten, medizinische Anamnese einschließlich erblicher Risikofaktoren und Exposition gegenüber ionisierender Strahlung.	Ausreichend/Positiv (Bösartige Hirntumoren)						
			<i>Häufigkeit der Nutzung</i>												
			Nicht-Nutzer (< 1 Jahr)	1 (Ref.)						1 (Ref.)	1 (Ref.)				
			Nutzer (> 1 Jahr)	1,6 (0,99–2,7)						1,7 (1,04–2,8)	1,7 (1,04–2,8)				
			<i>Dauer der Nutzung (Jahre)</i>												
			1–5	1,8 (1,002–3,4)						2,6 (1,4–4,9)	2,6 (1,4–5,0)				
			5–10	1,7 (0,98–2,8)						1,6 (0,9–2,7)	1,6 (0,98–2,8)				
			10–15	1,3 (0,8–2,2)						1,4 (0,8–2,3)	1,3 (0,8–2,2)				
			15–20	1,5 (0,8–2,6)						2,2 (1,3–3,6)	1,7 (1,02–3,0)				
			20–25	1,9 (1,1–3,5)						1,5 (0,5–4,6)	1,9 (1,04–3,4)				
> 25	2,9 (1,4–5,8)	-	3,0 (1,5–6,0)												





			1-5		1,1 (0,7-1,7)	1,2 (0,9-1,4)	1,1 (0,9-1,4)		
			5-10		1,1 (0,8-1,6)	1,6 (1,3-2,0)	1,5 (1,2-1,9)		
			10-15		2,2 (1,5-3,7)	1,4 (1,1-1,9)	1,4 (1,1-1,8)		
			15-20		2,4 (1,5-3,7)	2,0 (1,5-2,8)	1,7 (1,2-2,3)		
			20-25		3,2 (1,9-5,5)	1,6 (0,6-4,4)	1,9 (1,3-2,9)		
			> 25		4,8 (2,5-9,1)	-	3,0 (1,7-5,2)		

Tabelle 1 – Krebs in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung f)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)		Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen	
					OR (95%-KI) für Gliome	OR (95%-KI) für Meningiome			
8. Coureau et al. 2014. Frankreich. 2004–2006. CERENAT. Fall-Kontroll-Studie.	596 Fälle und 1 192 Kontrollen (M und W) im Alter von über 16 Jahren. Aus bevölkerungsbasierten Krebsregistern extrahierte Fälle. Zwei Kontrollen ohne ZNS-Tumor in der Anamnese wurden nach dem Zufallsprinzip aus den örtlichen Wählerverzeichnissen ausgewählt, wobei Alter ( $\pm 2$ Jahre), Geschlecht und Wohnbezirk übereinstimmten.	Exposition durch die Nutzung von Mobiltelefonen. Von den Befragten selbst berichtete Exposition anhand von standardisierten Fragebögen, die in persönlichen, nicht verblindeten strukturierten Befragungen von geschulten Befragern ausgefüllt wurden.	Zeit seit der ersten Nutzung (Jahre), Kumulative Dauer der Anrufe (Stunden)	Gliome, Meningiome. Zur Schätzung der ORs und 95%-KI wurde eine bedingte logistische Regression für abgeglichene Analysesets verwendet.			Bildungsstand, Rauchen, Alkoholkonsum. Potenzielle berufsbedingte Störfaktoren wurden anhand detaillierter Berufskalender und spezifischer Fragen zur Exposition gegenüber Pestiziden, extrem niederfrequenten elektromagnetischen Feldern (ENF-EMF), HF-EMF und ionisierender Strahlung ermittelt.	Ausreichend/Positiv (Gliom, Meningiom)	
			<i>Regelmäßige Nutzung von Mobiltelefonen</i>						
			Nicht regelmäßiger Nutzer		1 (Ref.)	1 (Ref.)			Positiver Zusammenhang bei Intensivnutzern
			Regelmäßiger Nutzer		1,24 (0,86–1,77)	0,90 (0,61–1,34)			
			<i>Zeit seit erster Nutzung (Jahre)</i>						
			1–4		0,88 (0,56–1,39)	0,79 (0,49–1,27)			
			5–10		1,34 (0,87–2,06)	0,97 (0,58–1,61)			
			> 10		1,61 (0,85–3,09)	1,57 (0,64–3,86)			
			<i>Kumulative Dauer der Anrufe (Stunden)</i>						
			< 43		0,83 (0,48–1,44)	1,12 (0,61–2,04)			
			43–112		0,77 (0,42–1,41)	0,85 (0,45–1,61)			
			113–338		1,07 (0,60–1,90)	0,52 (0,25–1,07)			
			339–895		1,78 (0,98–3,24)	0,52 (0,18–1,45)			
> 896	2,89 (1,41–5,93)	2,57 (1,02–6,44)							

Tabelle 1 – Krebs in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung g)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)		Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen						
<b>9. Pettersson et al. 2014.</b> Schweden, 2002–2007. Populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie.	422 Fälle mit Akustikusneurinom, 643 Kontrollen zur Analyse der Mobiltelefonnutzung. 417 Fälle mit Akustikusneurinom, 635 Kontrollen zur Analyse der Nutzung von schnurlosen Telefonen (M und W), Alter 20–69 Jahre. Fälle, die in Kliniken, den schwedischen regionalen Krebsregistern und lokalen Akustikusneurinom-Registern ermittelt wurden. Zwei abgegliche Kontrollen pro Fall, die nach dem Zufallsprinzip aus dem schwedischen Bevölkerungsregister ausgewählt wurden.	Nutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen. Von den Befragten selbst berichtete Expositionen laut postalisch übermitteltem Fragebogen.	Häufigkeit der Nutzung; Dauer der Exposition; Kumulative Nutzungsstunden	Akustikusneurinom. Odds-Ratios (OR) mit 95%-KI aus bedingter logistischer Regression	<b>OR (95%-KI) für Nutzer von Mobiltelefonen</b>	<b>OR (95%-KI) für Nutzer von schnurlosen Telefonen</b>	Rauchen, Bildung, Familienstand und Parität; für Analysen zu schnurlosen Telefonen: Nutzung mit Freisprecheinrichtung.  Einschränkungen bei der Expositionsbeurteilung. Positiver Zusammenhang bei Intensivnutzern.	Ausreichend/ Mehrdeutig (Akustikusneurinom)						
									<i>Häufigkeit der Nutzung</i>					
									Nie oder selten	1 (Ref.)	1 (Ref.)			
									Regelmäßige Nutzung	1,18 (0,88–1,59)	1,41 (1,07–1,86)			
									<i>Dauer der Nutzung (Jahre)</i>					
									< 5	1,06 (0,73–1,54)	1,35 (0,97–1,89)			
									5 bis 9	1,39 (0,97–1,97)	1,74 (1,22–2,46)			
									=> 10	1,09 (0,75–1,59)	1,10 (0,73–1,64)			
									<i>Kumulative Nutzung (Stunden)</i>					
									< 38	1,09 (0,73–1,62)	1,22 (0,82–1,82)			
									39–189	1,12 (0,74–1,69)	1,27 (0,85–1,89)			
190–679	1,13 (0,75–1,70)	1,42 (0,96–2,09)												
=> 680	1,46 (0,98–2,17)	1,67 (1,13–2,49)												

Tabelle 1 – Krebs in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung h)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode		Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95-%-KI)	Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen							
<b>10 Yoon et al. 2015.</b> Korea; 2002–2007; Fall-Kontroll-Studie.	285 Fälle, 285 Kontrollen (M und W), mittleres Alter 42,3 ( $\pm 14,1$ ) bei den Fällen; 42,5 ( $\pm 14,0$ ) bei den Kontrollen. Die Patienten wurden aus fünf Regionen, darunter Seoul, rekrutiert und in der Abteilung für Neurochirurgie in neun Krankenhäusern untersucht. Die Kontrollgruppe umfasste Personen, die in denselben Krankenhäusern Gesundheits-Screenings unterzogen wurden.	Exposition durch die Nutzung von Mobiltelefonen. Von den Befragten selbst berichtete Exposition laut Fragebögen.		Kumulative Stunden und Nutzungsjahre im Laufe des Lebens; durchschnittliche tägliche eingehende Anrufe und durchschnittliche tägliche ausgehende Anrufe; durchschnittliche Gesprächsdauer	Gliom; bereinigte Odds-Ratios (aORs) und 95-%KI wurden mithilfe logistischer Regression berechnet	<b>OR (95-%-KI) für Gliome</b>	bereinigt um Geschlecht, Alter, Art der Befragten, fünf Wohnregionen, Bildungsgrad, Verwendung von Haarfärbemitteln, Alkoholkonsum, Computernutzung und Verwendung einer Heizdecke	Ausreichend/ Mehrdeutig (Gliom)							
									Nutzung von Mobiltelefonen						
									Nicht-Nutzer		1 (Ref.)				
									Nutzer		1,17 (0,63–2,14)				
									Nutzungsjahre im Laufe des Lebens (Monate)						
									< 48		1,28 (0,62–2,64)				
									48–84		1,27 (0,63–2,56)				
									> 48		1,04 (0,52–2,09)				
									Kumulative Nutzungsstunden (Stunden)						
									< 300		1,25 (0,64–2,45)				
									300–900		1,59 (0,72–3,21)				
									> 900		0,64 (0,30–1,34)				
									Durchschnittliche Gesprächsdauer (min)						
< 2		1,18 (0,62–2,24)													
3–4		1,31 (0,65–2,63)													
> 5		1,00 (0,45–2,24)													
<b>11. Al-Qahtani 2016.</b> Saudi-Arabien; 1996–2013. Retrospektive Fall-Kontroll-Studie.	26 Fälle, 61 Kontrollen (M und W). < 30 Jahre: 28 30–39 Jahre: 23; 40–49 Jahre: 15; > 50 Jahre: 21. Krankenhausakten.	Exposition durch die Nutzung von Mobiltelefonen. Von den Befragten selbst berichtete Exposition in telefonischen und persönlichen Befragungen mit standardisiertem Fragebogen.		Tägliche Nutzung: <= 1 Stunde/Tag: unexponiert; > 1 Stunde/Tag: exponiert. Latenz: < 10-jährige Nutzung; => 10-jährige Nutzung;	Parotistumor. OR und 95-%-Konfidenzintervall	<b>OR (95-%-KI) für Parotistumor</b>	Rauchen Andere Störfaktoren nicht berücksichtigt.  Kleiner Stichprobenumfang.	Unzureichend							
									Tägliche Nutzung						
									Nicht exponiert		1 (Ref.)				
				Exponiert		3,47 (1,30–9,23)									

				<i>Dauer der Exposition</i>				
				< 10 Jahre:		3,6 (0,97–13,36)		
				10 Jahre oder mehr		3,46 (0,77–15,56)		



Tabelle 1 – Krebs in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung i)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)				Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen				
<b>12. Satta et al. 2018.</b> Sardinien, Italien; 1998–2004; Populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie im Rahmen der europäischen multizentrischen Studie EPILYMPH.	322 Lymphom-Fälle; 444 abgeglichen (M und W). Fälle im Alter von 25 bis 74 Jahren. Persönliche Befragungen anhand eines standardisierten Fragebogens.	Exposition durch einen Funk-/Fernseher oder eine Mobilfunkbasisstation in der Nähe der drei am längsten bestehenden Wohnadressen zu jedem Zeitpunkt des Lebens. Die Entfernung wird als stellvertretender Wert für die Intensität der Exposition herangezogen; HF-EMF-Messungen an der Tür der längstdauernden Wohnadresse für die Subgruppe der Teilnehmer, die in einem Umkreis von 250 m von der nächstgelegenen Sendebasisstation wohnen, unter Verwendung eines Microrade-Breitbanddetektors.	Schätzungen der Hochfrequenzfelder (V/m):	Lymphom-Subtypen: B-Zelle; T-Zelle; Hodgkin; nicht näher bezeichnetes Non-Hodgkin-Lymphom; OR und 95%-Konfidenzintervall anhand logistischer Regression.					Alter, Geschlecht, Bildungsjahre (kategorisiert als 8 Jahre, 9–13 Jahre, 14 Jahre), Bildungsniveau und Quartile des Verkehrsaufkommens in der Nähe der Wohnadressen der Studienteilnehmer.	Unzureichend				
<b>13. Balekouzou et al. 2017.</b> Zentralafrikanische Republik; 2003–2015; Fall-Kontroll-Studie.	174 Fälle; 348 Altersabgeglichene Kontrollen (W). Alter > 15 Jahre. Daten aus einem Krebsregister.	Nutzung von Mobiltelefonen, Strahlenexposition. Geschulte Befragter führten eine standardisierte persönliche Befragung durch.	Exposition gegenüber Strahlung; Gewohnheit, Mobiltelefon im BH aufzubewahren.	Brustkrebs. Die Odds-Ratio (OR) und die 95%-Konfidenzintervalle (95%-KI) wurden mittels unbedingter logistischer Regression ermittelt.					Alter, Beruf, ökonomischer Status, Bildungsniveau, Wohnort, ethnische Zugehörigkeit und Familienstand, Familienanamnese, Strahlenbelastung, Lebensmittelkonsum, körperliche Aktivität, Alkohol, Tabak, Verwendung von BHs, Gewohnheit, Geld oder Mobiltelefone in BHs aufzubewahren, Körpergröße, Gewicht und BMI.	Unzureichend				
			Tägliche Verwendung (Stunden/Tag)											
			Nein		1,00 (Ref.)		1,00 (Ref.)		Von den Befragten selbst berichtete Gewohnheit, das Mobiltelefon im BH aufzubewahren					

			Ja		8,02 (5,16–12,47)	0,000	8,21 (5,04–13,38)	0,000		
			<i>Gewohnheit, Mobiltelefon im BH aufzubewahren</i>							
			Ja		1,00 (Ref.)		1,00 (Ref.)			
			Nein		0,45 (0,31–0,65)	0,000	0,56 (0,35–0,89)	0,01		

Tabelle 1 – Krebs in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung j)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95 %-KI)		Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen		
					OR (95 %-KI) für Gliome	OR für Meningiome				
<b>14. Vila et al. 2018.</b> Australien, Kanada, Frankreich, Deutschland, Israel, Neuseeland und das Vereinigte Königreich; 2000–2004; INTEROCC-Studie: internationale Fall-Kontroll-Studie über Mobiltelefon-Nutzung und Hirntumorrisiko in sieben Ländern. "	2 054 Gliom-Fälle; 1 924 Meningiom-Fälle; 5 601 Kontrollen (M und W). Fälle im Alter von 30 bis 59 Jahren; bis zu 69 Jahre in Deutschland; ab 18 Jahren in Israel; 18 bis 69 Jahre im Vereinigten Königreich. Persönliche computergestützte Befragung.	Von den Befragten selbst berichtete Exposition am Arbeitsplatz oder Nähe zu Radaranlagen, Telekommunikationsantennen, Sendern, Geräten für die Halbleiterherstellung, medizinische Diagnose und Behandlung, industrielle Erhitzung oder Lebensmittelerhitzung. Eine Quellen-Expositions-Matrix (QEM) wurde verwendet, um jeder angegebenen HF- und IF-Quelle durchschnittliche Expositionswerte zuzuordnen (IF: intermediate frequencies, Zwischenfrequenzen). Die Feldintensitäten für jede EMF-Quelle wurden anhand der frequenzabhängigen Referenzwerte (RW) der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) für die Exposition am Arbeitsplatz gewichtet. Frequenz der Exposition: 10 MHz–300 GHz.	E-Feld (V/m), arithmetisches Mittel der Expositionswerte aus der QEM. HF-Quellen nach E-Feld-Expositionshöhe angeordnet)	Gliom- und Meningiom-Risiko; bereinigte OR und 95 %-Konfidenzintervalle.			Keine Informationen verfügbar  Studie legt eine potenzielle Rolle bei der Förderung/Progression von Hirntumoren nahe	Ausreichend/negativ (Gliom und Meningiom)		
					Dauer der Exposition: 1–4 Jahre					
					Nicht exponiert	1,00 (Ref.)			1,00 (Ref.)	
					< 0,42	0,69 (0,49–0,98)			0,60 (0,38–0,96)	
					0,42–4,47	0,85 (0,54–1,35)			1,13 (0,60–2,14)	
					4,48–18,8	0,77 (0,44–1,37)			0,86 (0,35–2,13)	
					≥ 18,9	1,38 (0,75–2,54)			1,30 (0,58–2,91)	
					Dauer der Exposition: 5–9 Jahre					
					Nicht exponiert	1,00 (Ref.)			1,00 (Ref.)	
					< 0,42	0,84 (0,61–1,17)			0,60 (0,38–0,97)	
					0,42–4,47	0,93 (0,60–1,44)			1,48 (0,84–2,61)	
					4,48–18,8	0,82 (0,46–1,47)			1,08 (0,66–2,39)	
					≥ 18,9	0,90 (0,44–1,83)			1,03 (0,45–2,63)	

Tabelle 1 – Krebs in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung I)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)			Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen	
<b>15. Luo et al. 2019.</b> Connecticut, USA, 2010–2011; populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie.	462 Fälle und 498 populationsbasierte Kontrollen (M und W), Alter 21–84 Jahre.	Nutzung von Mobiltelefonen, Strahlenexposition. Geschulte Befrager füllten mit den Befragten einen standardisierten und strukturierten Fragebogen aus.	Nutzung von Mobiltelefonen; Dauer der Exposition.	Schilddrüsenkarzinom (papillär, follikulär, medullär, anaplastisch). Multivariate unbedingte logistische Regression zur Schätzung von Odds-Ratios (OR) und 95%-Konfidenzintervallen (95%-KI).	<b>OR (95%-KI) für Schilddrüsenkarzinom, insgesamt</b>	<b>OR (95%-KI) für Schilddrüsenkarzinom, MM</b>	<b>OR (95%-KI) für Schilddrüsenkarzinom, WW</b>	Alter, Geschlecht, Bildungsniveaus, Schilddrüsenkarzinom in der Familienanamnese, Alkoholkonsum, Body-Mass-Index, frühere gutartige Schilddrüsenerkrankungen, Strahlenbelastung am Arbeitsplatz und Strahlenbehandlung.	Ausreichend/Mehrdeutig (Schilddrüsenkarzinome)	
			<i>Nutzung von Mobiltelefonen</i>							
			Nicht-Nutzer (Nutzung < 6 Monate)	1 (Ref.)	1 (Ref.)	1 (Ref.)				
			Nutzer (Nutzung < 6 Monate)	1,05 (0,74, 1,48)	1,27 (0,62, 2,61)	0,99 (0,66, 1,47)				
			<i>Tägliche Verwendung (Stunden/Tag)</i>							
			≤ 1	1,10 (0,72, 1,66)	1,76 (0,72, 4,32)	0,97 (0,60, 1,56)				
			1–2	1,51 (0,90, 2,53)	1,66 (0,57, 4,82)	1,45 (0,79, 2,65)				
			> 2	1,40 (0,83, 2,35)	1,05 (0,35, 3,14)	1,52 (0,83, 2,80)				
			<i>Alter bei erster Nutzung (Jahre)</i>							
			≤ 20	1,08 (0,53, 2,20)	1,49 (0,34, 6,01)	0,95 (0,42, 2,18)				
			21–50	1,06 (0,72, 1,55)	1,44 (0,65, 3,17)	0,96 (0,62, 1,49)				
			> 50	1,03 (0,62, 1,70)	0,99 (0,36, 2,70)	1,05 (0,58, 1,90)				
			<i>Dauer der Nutzung (Jahre)</i>							
			≤ 12	0,99 (0,66, 1,49)	0,99 (0,39, 2,48)	0,97 (0,61, 1,53)				
			12–15	0,94 (0,63, 1,42)	0,82 (0,34, 1,97)	0,97 (0,61, 1,55)				
> 15	1,29 (0,83, 2,00)	2,11 (0,91, 4,89)	1,03 (0,62, 1,73)	Gewisse Evidenz bei Langzeitnutzern						

Tabelle 2 – Krebs in epidemiologischen ökologischen Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (a)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)					Andere Co-Expositionen/Annahmen	Anmerkungen
<b>16. Gonzalez Rubio et al. 2017.</b> Spanien. 2012–2015. Ökologische Fall-Kontroll-Studie.	95 Fälle: 65 Lymphome, 12 Gliome, 18 Meningiome (30 Hirntumoren); 390 anonyme Kontrollen (M und W). Daten zur Wohnbevölkerung in den 110 Verwaltungsbezirken des spanischen Statistikinstituts (INE). Adressen für alle Krebsfälle von Gliomen, Meningiomen und Lymphomen des onkologischen Dienstes des Universitätskrankenhauses von Albacete. Repräsentative zufällige Stichprobe von 390 anonymen Adressen für die Kontrollgruppe aus dem Statistikdienst der Stadtverwaltung von Albacete.	Exposition gegenüber beliebigen HF am Wohnsitz. 14 Frequenzbänder (FM, TV3, TETRA, TV4 und 5, GSM Tx, GSM Rx, DCS Tx, DCS Rx, DECT, UMTS Tx, UMTS Rx, WiFi 2G, WiMAX und WiFi 5G) im Bereich von 88 MHz bis 6 GHz. Die persönliche Exposition wurde mit einem EME Spy 140 (Satimo)-Exposimeter bewertet, wobei das Exposimeter auf einem Fahrrad transportiert wurde. 168 266 Messungen insgesamt, 12 019 Messungen pro Frequenz, 1 540 durchschnittliche Messdatensätze pro Verwaltungsregion.	Durchschnittliche Gesamtexposition gegenüber HF-EMF (V/m) pro Verwaltungsregion: Min. 0,07, max. 1,03	Gliome, Meningiome und Lymphome; Spearman-Test zur Korrelation zwischen Exposition und Inzidenz von Tumoren. Effektschätzung nicht angemessen						Rauchen  Andere Störfaktoren nicht analysiert  Design nicht klar, insbesondere aufgrund der Tatsache, dass es eine persönliche Expositionsbewertung zu geben scheint	unzureichend
	Design nicht klar, insbesondere aufgrund der Tatsache, dass es eine persönliche Expositionsbewertung zu geben scheint	Expositionsbewertung unklar				ρ von Spearman für Meningiom, (p-Wert) 0,19 (0,04)	ρ von Spearman für Gliom, (p-Wert) 0,15 (0,13)	ρ von Spearman für Gehirn insgesamt, (p-Wert) 0,28 (0,003)	ρ von Spearman für Lymphom, (p-Wert) -0,03 (0,72)	ρ von Spearman für alle Tumoren, (p-Wert) 0,13 (0,19)	

Tabelle 3 – Krebs in epidemiologischen Kohortenstudien (450–6 000 MHz) (a)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)			Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen	
<b>17. Frei et al. 2011.</b> Dänemark; 1990–2007. Landesweite Kohortenstudie.	Alle Dänen im Alter von ≥ 30 Jahren, die nach 1925 in Dänemark geboren wurden, unterteilt in Personen mit und ohne Mobilfunkverträge oder Nutzung von Prepaid-Karten vor 1995.	Nutzung von Mobiltelefonen mit Mobilfunkvertrag; Aufzeichnungen für die Jahre 1982–95 wurden von den dänischen Netzbetreibern eingeholt.	Nutzung von Mobiltelefonen, Dauer des Mobilfunkvertrags.	Tumoren im zentralen Nervensystem. Geschlechtspezifische Inzidenzratenverhältnisse (IRR) und 95%-Konfidenzintervalle aus log-linearen Poisson-Regressionsmodellen.	<b>IRR (95%-KI) für Tumoren des zentralen Nervensystems, MM</b>	<b>IRR (95%-KI) für Tumoren des zentralen Nervensystems, WW</b>	<b>IRR (95%-KI) für Tumoren des zentralen Nervensystems, MM mit &gt; 12-jähriger Bildung</b>	Alter, Kalenderzeitraum, Bildung und verfügbares Einkommen.	Unzureichend	
			<i>Nutzung von Mobiltelefonen</i>							
			Ohne Mobilfunkvertrag	1,0 (Ref.)	1,0 (Ref.)	1,0 (Ref.)				
			Mit Mobilfunkvertrag	1,02 (0,94 bis 1,10)	1,02 (0,86 bis 1,22)	1,00 (0,83 bis 1,22)	Expositionsbewertung nur nach Mobilfunkverträgen			
			<i>Jahre mit Mobilfunkvertrag</i>							
			Ohne Mobilfunkvertrag	1,0 (Ref.)	1,0 (Ref.)	1,0 (Ref.)				
			1–4	1,07 (0,92 bis 1,24)	0,97 (0,69 bis 1,36)	1,29 (0,92 bis 1,79)				
			5–9	0,95 (0,83 bis 1,08)	1,05 (0,81 bis 1,37)	0,95 (0,70 bis 1,29)				
			10–12	1,08 (0,93 bis 1,25)	1,05 (0,75 bis 1,47)	0,82 (0,55 bis 1,24)				
			≥ 13	1,03 (0,83 bis 1,27)	0,91 (0,41 bis 2,04)	0,94 (0,55 bis 1,60)				



Tabelle 3 – Krebs in epidemiologischen Kohortenstudien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung b)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)					Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen
					RR (95%-KI) für alle intrakraniellen Tumoren des zentralen Nervensystems	RR (95%-KI) für Gliome	RR (95%-KI) für Meningiome	RR (95%-KI) für Hypophyse	RR (95%-KI) für Akustikusneurinome		
18. Benson et al. 2013. Vereinigtes Königreich; prospektive Kohortenstudie, die Million Women Study.	1,3 Millionen Frauen mittleren Alters wurden für ein Programm zur Brustkrebsvorsorge untersucht und rekrutiert	Nutzung von Mobiltelefonen; Postalischer Fragebogen; Fragen zur Mobiltelefonnutzung wurden in den Jahren 1999–2005 und erneut im Jahr 2009 gestellt.	Nutzung von Mobiltelefonen ;	Intrakranielle Tumoren des zentralen Nervensystems. Cox-Regressionsmodelle zur Schätzung der bereinigten relativen Risiken (RR) und der 95%-Konfidenzintervalle (KI)						Sozioökonomischer Status, Region, Alter bei Studienbeginn, Körpergröße, BMI, Rauchen, Alkoholkonsum, körperliche Aktivität, Hormontherapie in den Wechseljahren.	Ausreichend / Positiv (Akustikusneurinom, Hypophyse)
			<i>Jemals Nutzung eines Mobiltelefons</i>							Überbereinigung bei mehreren Endpunkten.	
			Nein	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)			
			Ja	1,01 (0,90–1,14)	0,91 (0,76–1,08)	1,05 (0,81–1,38)	1,52 (0,99–2,33)	1,44 (0,91–2,28)			
			<i>Häufigkeit der Nutzung</i>								
			Niemals-Nutzer	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)			
			< Tägliche Nutzung	1,02 (0,90–1,15)	0,92 (0,77–1,10)	1,05 (0,80–1,37)	1,53 (0,99–2,36)	1,45 (0,91–2,31)			
			Tägliche Nutzung	1,00 (0,80–1,26)	0,80 (0,56–1,14)	1,11 (0,67–1,85)	1,45 (0,68–3,10)	1,37 (0,61–3,07)			
			<i>Dauer der Exposition (Jahre):</i>				<i>p-Wert für Trend = 0,23</i>	<i>p-Wert für Trend = 0,03</i>			
			Niemals-Nutzer	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)			
< 5	1,00 (0,84–1,20)	0,93 (0,71–1,21)	0,88 (0,60–1,31)	2,31 (1,31–4,06)	1,00 (0,54–1,82)						
5–9	1,02 (0,89–1,17)	0,92 (0,75–1,13)	1,21 (0,89–1,65)	1,08 (0,64–1,82)	1,80 (1,08–3,03)						
10+	1,02 (0,81–1,27)	0,78 (0,55–1,10)	1,10 (0,66–1,84)	1,61 (0,78–3,35)	2,46 (1,07–5,64)						

Tabelle 3 – Krebs in epidemiologischen Kohortenstudien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung c)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)				Andere Co-Expositionen /Anpassungen	Anmerkungen	
<b>19. Poulsen et al. 2013.</b> Dänemark, 1982–1995, Nachbeobachtung bis 2007. Kohortenstudie: CANULI-Studie zu sozialer Ungleichheit und Inzidenz und Überleben von Krebserkrankungen	355 701 (M und W), 30 Jahre bis zum Datum der ersten Krebsdiagnose, Tod Auswanderung.	Nutzung von Mobiltelefonen. Mobilfunkverträge in Dänemark im Zeitraum von 1982 bis Ende 1995. Die Zeit einer Person innerhalb des ersten Jahres des Mobilfunkvertrags wurde als unexponiert definiert.	Nutzung von Mobiltelefonen; Dauer der Exposition.	Basalzellkarzinom im Kopf- und Halsbereich, Plattenepithelkarzinom und Melanom im Kopf- und Halsbereich. Inzidenzratenverhältnisse (IRR) und 95%-Konfidenzintervalle aus log-linearen Poisson-Regressionsmodellen.	<b>IRR (95%-KI) für Basalzellkarzinom im Kopf- und Halsbereich, WW</b>	<b>IRR (95%-KI) für Basalzellkarzinom im Kopf- und Halsbereich, MM</b>	<b>IRR (95%-KI) für Plattenepithelkarzinom und Melanom im Kopf- und Halsbereich, WW</b>	<b>IRR (95%-KI) für Plattenepithelkarzinom und Melanom im Kopf- und Halsbereich, MM</b>	Alter, Kalenderjahr, Bildungsniveau und Einkommen. Expositionsbewertung nur nach Mobilfunkvertrags	Unzureichend	
			<i>Nutzung von Mobiltelefonen</i>								
			Nicht-Nutzer (Mobilfunkvertrag < 1 Jahr)		1 (Ref.)	1 (Ref.)	1 (Ref.)	1 (Ref.)			
			Nutzer (Mobilfunkvertrag > 1 Jahr)		0,93 (0,82–1,05)	0,98 (0,93–1,03)	1,01 (0,88–1,16)	1,05 (0,80–1,37)			
			<i>Dauer der Nutzung (Jahre)</i>								
			1–4		1,02 (0,80–1,30)	1,01 (0,91–1,13)	0,86 (0,61–1,21)	1,16 (0,69–1,94)			
			5–9		0,78 (0,64–0,95)	0,96 (0,89–1,04)	1,01 (0,81–1,26)	1,01 (0,65–1,57)			
			10–12		1,02 (0,83–1,26)	0,96 (0,87–1,05)	1,17 (0,93–1,48)	0,92 (0,55–1,54)			
>= 13		1,20 (0,79–1,82)	1,02 (0,90–1,15)	0,91 (0,66–1,27)	1,20 (0,65–2,22)						

Tabelle 3 – Krebs in epidemiologischen Kohortenstudien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung d)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)			Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen	
20. Hauri et al. 2014. Schweiz. 2000–2008. Eine Zensus-basierte Kohortenstudie.	997 Krebsfälle aus der nationalen Schweizer Kohorte: 283 Leukämie, 258 ZNS-Tumoren, 456 andere Krebsarten; 117 Fälle aus dem Schweizer Kinderkrebsregister, die nicht mit der nationalen Schweizer Kohorte verbunden sind: 27 Leukämie, 26 ZNS-Tumoren, 64 andere Krebsarten (M und W); ≤ 15 Jahre	Exposition am Wohnsitz gegenüber Rundfunksendern, die Mittelwellen (0,5–1,6 MHz), Kurzwellen (6–22 MHz), sehr hohe Frequenzen (SHF; 174–230 MHz) und ultrahohe Frequenzen (UHF; 470–862 MHz) in Form von EMF aussenden. HF-EMF-Werte von SHF- und UHF-Sendern ... wurden vom Bundesamt für Kommunikation für ein Gebiet mit einem Radius von 10 km um jeden Sender für die Jahre 1990 und 2000 modelliert.	Vorab gewählte Grenzwerte zur Unterscheidung zwischen niedriger, mittlerer und hoher Exposition. V/m	Leukämie, akute lymphoblastische Leukämie und Tumoren des zentralen Nervensystems, einschließlich gutartiger Tumoren Hazard-Ratio aus einer Analyse der Zeit bis zum Auftreten eines Ereignisses (Cox-Regression), 2000–2008. Inzidenzratenverhältnis aus der Poisson-Regressionsanalyse, 1985–2008.	<b>HR (95%-KI), IRR (95%-KI), alle Krebserkrankungen</b>	<b>HR (95%-KI), IRR (95%-KI), alle Leukämien</b>	<b>HR (95%-KI), IRR (95%-KI), alle ZNS-Tumoren</b>	Geschlecht, Benzol, natürliche ionisierende $\gamma$ -Hintergrundstrahlung, Entfernung zur nächstgelegenen Hochspannungsleitung und Grad der Urbanisierung.	Ausreichend/ Negativ (Krebserkrankungen im Kindesalter)	
			<i>Exposition am Wohnsitz.</i>							
			Niedrig	1 (Ref.)	1 (Ref.)	1 (Ref.)				
			Mittel	1,14 (0,94–1,38) 1,09 (1,00–1,20)	0,70 (0,46–1,07) 0,92 (0,77–1,10)	1,35 (0,94–1,95) 1,16 (0,95–1,42)				
			Hoch	1,03 (0,74–1,43) 0,90 (0,76–1,06)	0,55 (0,26–1,19) 0,76 (0,55–1,05)	1,68 (0,98–2,91) 1,03 (0,73–1,46)				

Tabelle 4 (Zusammenfassung 1–3) – Erhobene Daten zu Krebs in epidemiologischen Studien (450–6 000 MHz)

Studie zu FR1 insgesamt*	20			
Ausreichende Studien	11			
Beobachteter Tumor	Ausreichende Studien insgesamt	Positive Ergebnisse	Mehrdeutige Ergebnisse	Negative Ergebnisse
Gliom	8	3	2	3
Akustikusneurinom	3	2	1	
Meningiom	4	2		2
Lymphom	1			1
Schilddrüse	1		1	
Hypophyse	1	1		

\*Einige der Studien umfassen mehr als eine Tumorstelle.

## 1. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE EPIDEMIOLOGISCHER STUDIEN (FR1: 450 bis 6 000 MHz)

### (Tabelle 4)

Die epidemiologische Evidenz für mögliche Zusammenhänge zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und Krebs stammt aus Studien mit unterschiedlichem Design, in denen eine Reihe von Expositionsquellen untersucht wurden: Die Populationen umfassten Personen mit Exposition am Arbeitsplatz, Personen, die durch Quellen in der allgemeinen Umwelt exponiert sind, z. B. Funkbasisstationen, und Personen, die durch die Nutzung von drahtlosen (mobilen und schnurlosen) Telefonen exponiert sind.

In Kapitel 4 (Beschränkungen) werden allgemeine methodische Bedenken im Zusammenhang mit der Bewertung einzelner Studien behandelt. Die Gesamtzahl der epidemiologischen Studien, die nach der IARC-Bewertung von 2011 (IARC, 2013) und bis zum Jahr 2020, dem für die vorliegende Überprüfung für FR1 ausgewählten Zeitraum, veröffentlicht wurden, betrug 20.

Nach weiteren eingehenden Analysen der 20 Originalveröffentlichungen erwiesen sich 11 Studien auf der Grundlage der Expositionsbewertung, des Stichprobenumfangs und der Angemessenheit der Analysen von Störfaktoren als ausreichend.

Gliome, Akustikusneurinome, Meningiome, Lymphome sowie Schilddrüsen- und Hypophysentumoren wurden in den 11 ausreichenden Studien auf einen möglichen Zusammenhang mit der Exposition gegenüber HF-EMF im Rahmen der Nutzung von Mobiltelefonen oder der umweltbedingten Exposition/Exposition am Arbeitsplatz gegenüber Aussendungen von Funkbasisstationen untersucht. Nachstehend wird der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Gewebsneubildungen und der HF-EMF-Exposition dargestellt. In Klammern sind die den verschiedenen Studien zugeordneten Zahlen angegeben.

*Gliom:* Von 7 ausreichenden Studien zu diesem Endpunkt zeigten 3 einen positiven Zusammenhang mit HF-EMF-Exposition (Ref.: 6, 7, 8), 2 waren mehrdeutig (1, 10) und 3 negativ (Ref.: 14, 18, 20).

*Akustikusneurinom:* Von 3 ausreichenden Studien zu diesem Endpunkt zeigten 2 einen positiven Zusammenhang mit HF-EMF-Exposition (Ref.: 7, 18), 1 war mehrdeutig (Ref.: 9).

*Meningiom:* Von 4 ausreichenden Studien zu diesem Endpunkt zeigten 2 einen positiven Zusammenhang mit HF-EMF-Exposition (Ref.: 5, 8), und 2 waren negativ (Ref.: 14, 18).

*Lymphom/Leukämie:* die einzige ausreichende Studie (Kindesalter) zu diesem Endpunkt war negativ (Ref.: 20).

*Schilddrüsentumor:* die einzige ausreichende Studie zu diesem Endpunkt zeigte mehrdeutige Ergebnisse (Ref.: 15).

*Hypophysentumor:* die einzige ausreichende Studie zu diesem Endpunkt war positiv (Ref.: 18).

Die Ergebnisse der verschiedenen Studien für denselben Endpunkt sind gemischt (mit widersprüchlichen Ergebnissen), wie in Tabelle 4 zusammengefasst ist. Die Tumoren mit der belastbarsten Evidenz für einen Zusammenhang sind Gliome und Akustikusneurinome. Der Zusammenhang bei Gliomen und Akustikusneurinomen ist bei langjährigen Intensivnutzern von Mobiltelefonen stärker ausgeprägt, wobei Mobiltelefone auch die am umfassendsten untersuchte Expositionsquelle ist, und in einigen Fällen wurde das Auftreten von Tumoren mit der Seite in Verbindung gebracht, auf der das Gerät bedient wurde.

Die IARC-Bewertung der *begrenzten Evidenz* für die Kanzerogenität von HF-EMF in epidemiologischen Studien in Bezug auf FR1 wird bestätigt.

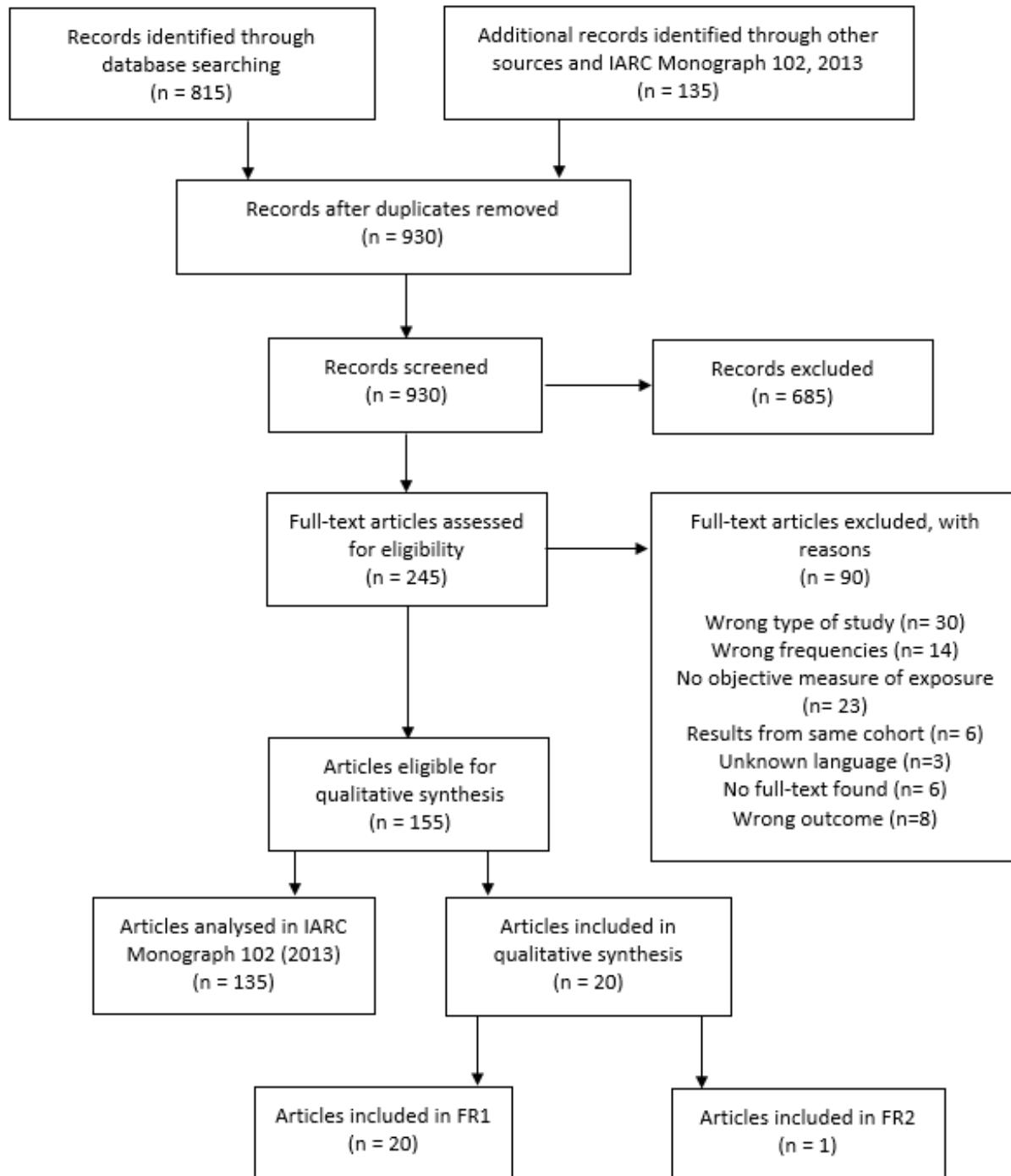
#### 4.1.2 Krebs in epidemiologischen Studien: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW) untersuchen.

Der Auswahlprozess für die relevante Literatur ist derselbe wie für FR1, wie im PRISMA-Flussdiagramm hervorgehoben. 930 Artikel wurden auf der Grundlage von Titel und Zusammenfassung dem Vorauswahlprozess unterzogen (gescreent), 685 wurden in diesem Stadium ausgeschlossen; 245 wurden auf der Grundlage von Volltexten gescreent, 90 wurden in diesem Stadium ausgeschlossen, und nach einer gründlicheren Bewertung kam nur ein veröffentlichter Artikel für die Aufnahme in das Scoping Review für den höchsten Frequenzbereich infrage (dieser Artikel berichtete über Expositionen am Arbeitsplatz sowohl für FR1 als auch für FR2, sodass sich dies nicht zur Gesamtzahl der eingeschlossenen Studien addiert) (Abb. 10).

Zwei Artikel, die in die IARC-Monographie 102 (IARC, 2013) aufgenommen wurden (und daher hier nicht beschrieben werden), stellten Expositionen im Zusammenhang mit dem FR2-Bereich dar: Es wurde entschieden, die wichtigsten Informationen in den zusammenfassenden Tabellen anzugeben, da diese neuen Frequenzen den eigentlichen Schwerpunkt dieses Scoping Reviews bilden.

Zu jedem Artikel werden auch hier eine Zusammenfassung und eine Tabelle, in der die wichtigsten Informationen zusammengefasst werden, vorgelegt; Darüber hinaus hat ein anerkannter Experte ihre Eignung für die Bewertung karzinogener Wirkungen (ausreichend/unzureichend) und eine Gesamtsynthese der Ergebnisse (positiv/negativ/mehrdeutig) gemäß den Kriterien bewertet, mit denen die im Abschnitt zur Methodik beschriebene Eignung beurteilt wurde.

Abbildung 10 – Flussdiagramm. Epidemiologische Studien zu Krebs für FR2



Die Suche in den Datenbanken PubMed und EMFPortal nach epidemiologischen Studien zu Expositionen von 24 GHz bis 100 GHz (FR2) ergab 3 Studien. Zwei davon wurden bereits in der IARC-Monographie 102 beschrieben (Stang et al., 2001 (1); Baumgardt-Elms et al., 2002 (2)), eine wurde nach 2011 veröffentlicht (Vila et al., 2018 (3)); letztere wurde auch in der Analyse der niedrigeren Frequenzen untersucht, die in der Überprüfung enthalten ist. Die 3 Studien beziehen sich auf die Exposition am Arbeitsplatz von Radarbedienern oder Arbeitern in der Nähe von Radarstationen. Der von der Radartelekkommunikation genutzte Frequenzbereich ist in Tabelle 5 dargestellt (IEEE 521-2002). Die Exposition von Arbeitern lässt



sich nicht gut bewerten, da die HF-EMF-Exposition von den Befragten selbst berichtet wird, in der Regel quantifiziert durch die Entfernung zum Radar oder einfach durch die Berufsbezeichnung:

Tabelle 5 – Von der Radarkommunikation genutzter Frequenzbereich

Bereichsname	Frequenz
L	1–2 GHz
S	2–4 GHz
C	4–8 GHz
[3]	8–12 GHz
Ku	12–18 GHz
K	18–27 GHz
Ka	27–40 GHz
V	40–75 GHz
W	75–110 GHz

Zusammenfassungen der ausgewerteten Studien für diese Frequenzen sind in den Tabellen 6a,b dargestellt. Die folgende epidemiologische Studie wurde nicht in die Bewertung der IARC-Arbeitsgruppe 2011 aufgenommen:

### 3. Vila et al., 2018.

Australien, Kanada, Frankreich, Deutschland, Israel, Neuseeland und das Vereinigte Königreich; 2000–2004; INTEROCC-Studie: internationale Fall-Kontroll-Studie über Mobiltelefon-Nutzung und Hirntumorrisiko in sieben Ländern.

2011 stufte die Internationale Agentur für Krebsforschung hochfrequente (HF) elektromagnetische Felder (EMF) als möglicherweise krebserregend für den Menschen (Gruppe 2B) ein, obwohl die epidemiologische Evidenz für den Zusammenhang zwischen Exposition am Arbeitsplatz gegenüber HF-EMF und Krebs als unzureichend bewertet wurde, was teilweise auf Einschränkungen bei der Expositionsbeurteilung zurückzuführen ist. Diese Studie untersucht den Zusammenhang zwischen der Exposition am Arbeitsplatz gegenüber HF und Zwischenfrequenzen (Intermediate Frequencies, IF) und dem Hirntumorrisiko (Gliom und Meningiom) in der multinationalen populationsbasierten Fall-Kontroll-Studie INTEROCC (mit fast 4 000 Fällen und über 5 000 Kontrollen) unter Verwendung eines neuen Expositionsbeurteilungsansatzes. Methoden: Individuelle Indizes der kumulativen Exposition gegenüber HF- und IF-EMF (insgesamt und in bestimmten Expositionszeiträumen) wurden den Studienteilnehmern anhand einer Quellen-Expositions-Matrix und detaillierter Befragungsdaten über die Arbeit an oder in der Nähe von EMF-Quellen zugeordnet. Mithilfe der bedingten logistischen Regression wurde der Zusammenhang mit dem Risiko für Gliome und Meningiome untersucht. Insgesamt waren etwa 10 % der Studienteilnehmer HF ausgesetzt, während nur 1 % IF-EMF ausgesetzt waren. Es gab keine eindeutige Evidenz für einen positiven Zusammenhang zwischen HF- oder IF-EMF (IF: intermediate frequencies, Zwischenfrequenzen) und den untersuchten Hirntumoren, wobei die meisten Ergebnisse entweder keinen Zusammenhang oder Odds-Ratios (ORs) unter 1,0 zeigten. Die größten bereinigten ORs wurden für die kumulative Exposition gegenüber HF-Magnetfeldern (als A/m-Jahre) in der höchsten Expositions-kategorie ( $\geq 90$ . Perzentil) für den am kürzesten zurückliegenden Expositionszeitraum (1–4 Jahre vor der Diagnose oder dem Referenzdatum) sowohl für Gliome (OR = 1,62; 95-%-Konfidenzintervall (KI): 0,86, 3,01) als auch für Meningiome (OR = 1,52; 95-%-KI: 0,65, 3,55) ermittelt. Trotz des verbesserten Expositionsbeurteilungsansatzes, der in dieser Studie verfolgt

wurde, konnten keine eindeutigen Zusammenhänge festgestellt werden. Die Ergebnisse einer kürzlichen Exposition gegenüber elektrischen und magnetischen HF-Feldern weisen jedoch auf eine mögliche Rolle bei der Förderung/Progression von Hirntumoren hin und sollten eingehender untersucht werden.

**Anmerkung: Verbesserte Expositionsbewertung. Für Gliome und Meningiome wurden keine eindeutigen Zusammenhänge festgestellt, möglicherweise spielen sie eine Rolle bei der Förderung/Progression von Hirntumoren.**

Tabelle 6 – Krebs in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien (24 bis 100 GHz, MMW) (a)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95-%-KI)		Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen
<b>1. Stang et al. 2001.</b> Deutschland. 1994–1997. Krankenhausbasierte und populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie.	118 Fälle, 475 Kontrollen (M und W). 35–74 Jahre. Krankenhausbasierte Fall-Kontroll-Studie in der Klinik für Augenheilkunde des Universitätsklinikums Essen. Die Kontrollen der populationsbasierten Studie wurden nach dem Zufallsprinzip aus den obligatorischen Einwohnermelderegistern ausgewählt.	Quellen elektromagnetischer Strahlung am Arbeitsplatz. Von den Befragten selbst berichtete Exposition aus persönlicher Befragung.	Exposition im Laufe des Lebens: Quelle der Exposition, Dauer, Beginn der Exposition.	Aderhautmelanom. Odds-Ratios (OR) und 95-%-KI aus Modellen für bedingte logistische Regression.			Anamnese, phänotypische Merkmale, Faktoren der Lebensweise,  Wenige Teilnehmer berichteten über Exposition gegenüber Radar	Ausreichend/negativ (Aderhautmelanom)
			<i>EMF-Quelle</i>					
			Radaranlagen		0,4 (0,0–2,6)			
<b>2. Baumgardt-Elms et al. 2002.</b> Deutschland. 1995–1997. Populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie.	269 Fälle, 797 Kontrollen (M). 15–69 Jahre. Die Fälle wurden über ein aktives Meldesystem der klinischen und pathologischen Abteilungen in den Studienregionen ermittelt. Die Kontrollen wurden nach dem Zufallsprinzip aus den obligatorischen Einwohnermelderegistern ausgewählt.	Exposition am Arbeitsplatz gegenüber EMF. Von den Befragten selbst berichtete Exposition aus persönlicher Befragung.	Mindestens 6-monatige Exposition. Expositionen, gruppiert nach dem elektromagnetischen Spektrum und Annahmen über die Stärke der elektrischen und magnetischen Felder, die an bestimmten Arbeitsplätzen gemessen werden.	Hodenkrebs; Die Odds-Ratio und die 95-%-Konfidenzintervalle (OR, 95-%-KI) wurden mittels bedingter logistischer Regression ermittelt.			Abgleich der Faktoren Alter (zehn 5-Jahres-Altersgruppen, da es keine Fälle in der höchsten Altersgruppe gab) und Wohnregion (fünf Strata) durch Stratifizierung; Subgruppenanalyse für körperliche/manuelle Arbeiter und Arbeitnehmer in Verwaltungs-/geistiger Tätigkeit.	Ausreichend/negativ (Tumoren der Hoden)
			<i>EMF-Quelle</i>					
			Arbeiten in der Nähe von Radaranlagen		1,0 (0,60–1,75)			

Tabelle 6 – Krebs in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien (24 bis 100 GHz, MMW) (Fortsetzung b)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95-%-KI)		Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen
					OR (95-%-KI) für Gliome	OR für Meningiome		
<b>3. Vila et al. 2018.</b> Australien, Kanada, Frankreich, Deutschland, Israel, Neuseeland und das Vereinigte Königreich; 2000–2004; INTEROCC-Studie: internationale Fall-Kontroll-Studie über Mobiltelefon-Nutzung und Hirntumorrisiko in sieben Ländern.	2 054 Gliom-Fälle; 1 924 Meningiom-Fälle; 5 601 Kontrollen (M und W). Fälle im Alter von 30 bis 59 Jahren; bis zu 69 Jahre in Deutschland; ab 18 Jahren in Israel; 18 bis 69 Jahre im Vereinigten Königreich. Persönliche computergestützte Befragung.	Von den Befragten selbst berichtete Exposition am Arbeitsplatz oder Nähe zu Radaranlagen, Telekommunikationsantennen, Sendern, Geräten für die Halbleiterherstellung, medizinische Diagnose und Behandlung, industrielle Erhitzung oder Lebensmittelerhitzung. Eine Quellen-Expositions-Matrix (QEM) wurde verwendet, um jeder angegebenen HF- und IF-Quelle durchschnittliche Expositionswerte zuzuordnen (IF: intermediate frequencies, Zwischenfrequenzen). Die Feldintensitäten für jede EMF-Quelle wurden anhand der frequenzabhängigen Referenzwerte (RW) der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) für die Exposition am Arbeitsplatz gewichtet. Frequenz der Exposition: 10 MHz–300 GHz.	E-Feld (V/m), arithmetisches Mittel der Expositionswerte aus der QEM. HF-Quellen nach E-Feld-Expositionshöhe angeordnet)	Gliom- und Meningiom-Risiko; bereinigte OR und 95-%-Konfidenzintervalle.			Keine Informationen verfügbar  Verbesserte Expositionsbewertung. Für Gliome und Meningiome wurden keine eindeutigen Zusammenhänge festgestellt, möglicherweise spielen sie eine Rolle bei der Förderung/Progression von Hirntumoren.	Ausreichend/negativ (Gliom und Meningiom)

Tabelle 7 (Zusammenfassung 6 a, b) – Zusammenfassende Tabelle für epidemiologische Studien zu Krebs, FR2: 24–100 GHz

Studien insgesamt*	3			
Ausreichende Studien	3			
Beobachteter Tumor	Ausreichende Studien insgesamt	Positive Ergebnisse	Mehrdeutige Ergebnisse	Negative Ergebnisse
Gliom	1			1
Meningiom	1			1
Aderhautmelanom	1			1
Hodenkrebs	1			1

\*Eine der Studien umfasst mehr als eine Tumorstelle.

#### ➤ **ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE EPIDEMIOLOGISCHER STUDIEN ZU KREBS (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW) (Tabelle 6a, b)**

Alle 3 untersuchten ausreichenden Studien zeigten keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber höheren Frequenzen (FR2) und der ausgewählten Krebsart (Tabelle 7).

Die IARC-Arbeitsgruppe kam in der Zusammenfassung der für die Exposition am Arbeitsplatz gemeldeten Daten auch für FR2 zu folgendem Schluss:

*Tumoren des Gehirns: „... falsche Einstufung der Exposition und unzureichende Berücksichtigung möglicher Störfaktoren schränken die Interpretation der Ergebnisse ein. Es gibt daher keinen eindeutigen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen Exposition am Arbeitsplatz gegenüber HF-Strahlung und dem Risiko von Hirntumoren.“*

*Leukämie/Lymphom: Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es zwar schwache Indikatoren für ein mögliches erhöhtes Leukämie- oder Lymphomrisiko im Zusammenhang mit Exposition am Arbeitsplatz gegenüber HF-Strahlung gibt, diese Ergebnisse aber aufgrund der begrenzten Expositionsbeurteilung und möglicher Verwechslungen schwer zu interpretieren sind“.*

Für andere Arten von Tumoren ergab sich ein potenzieller Zusammenhang mit der Exposition gegenüber hohen Frequenzen (Aderhautmelanom, Hoden-, Brust-, Lungen- und Hautkrebs), aber viele der Studien wiesen methodische Einschränkungen auf und die Ergebnisse waren uneinheitlich (IARC 2013). Anschließend wurde eine weitere ausreichende Studie über den Zusammenhang zwischen diesen Tumorarten und der Exposition gegenüber HF-EMF (FR2) durchgeführt.

Die vorliegende Untersuchung bekräftigt diese Anmerkungen, sodass wir bestätigen müssen, dass die einzigen 3 epidemiologischen Studien, die für die FR2-Exposition untersucht wurden, *hinsichtlich der höchsten 5G-Frequenz (FR2) nicht ausreichend sind, um die Auswirkungen auf die Gesundheit zu bewerten.*

### 4.1.3 Krebs bei Versuchstieren: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF im niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6 000 MHz) untersuchen, was auch die Frequenzen einschließt, die in den Breitband-Mobilfunknetzen früherer Generationen (1G, 2G, 3G, 4G) genutzt werden.

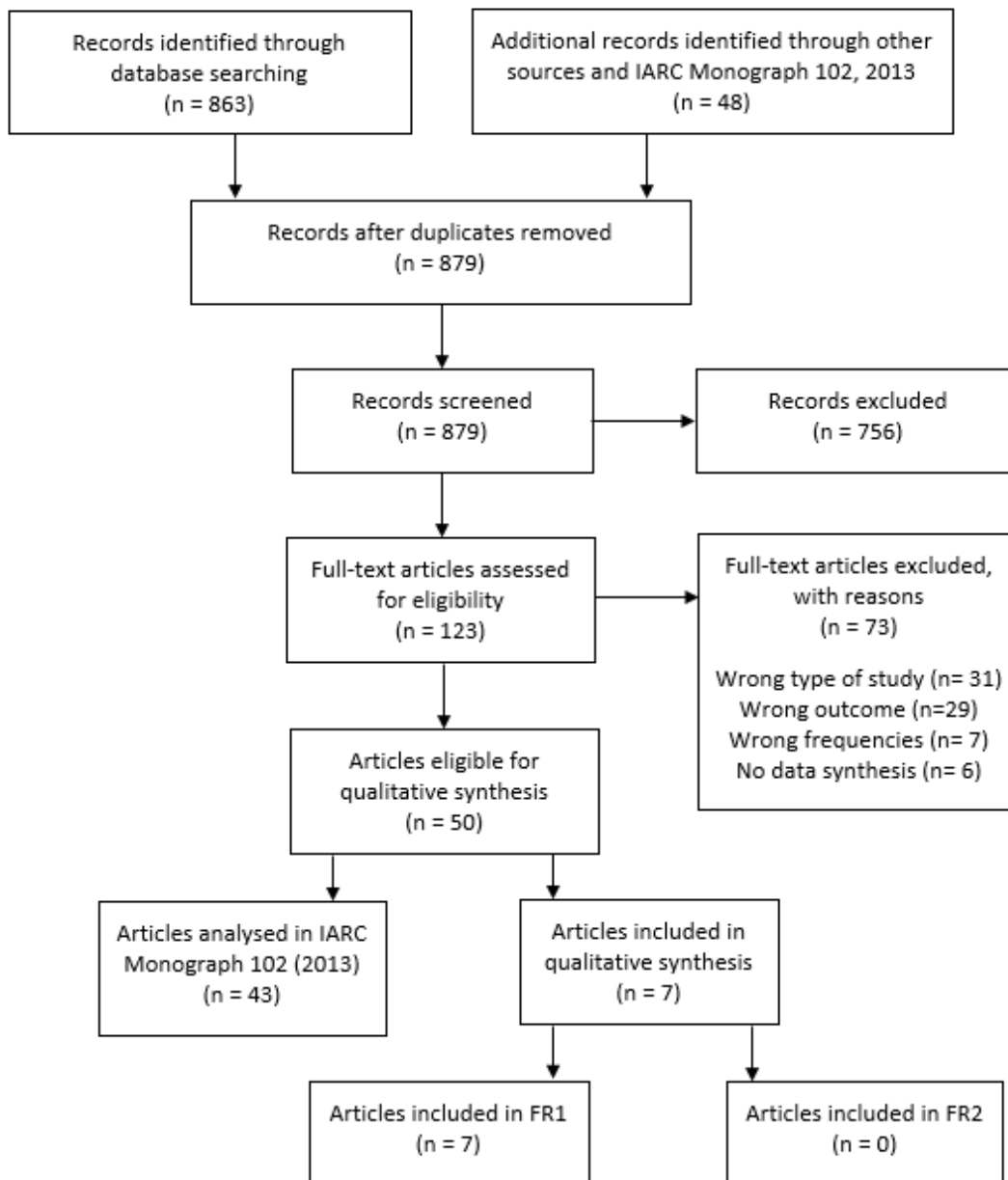
Insgesamt wurden 911 Artikel mittels Datenbanksuche und anderer Quellen ermittelt. Nach Entfernung von Duplikaten (32) und Ausschluss nicht relevanter Artikel (756) auf der Grundlage des Titels und der Zusammenfassungen verblieben 123 Artikel. Auf der Grundlage eines Volltext-Screenings wurden 73 weitere Veröffentlichungen ausgeschlossen, sodass es 50 Artikel mit Frequenzen gab, die für die Aufnahme in diese qualitative Synthese geeignet waren.

Wie im Abschnitt über die Methodik eingehender erläutert, haben wir die IARC-Monographie 102 (IARC, 2013) als Schlüsselreferenz für alle bis 2011 veröffentlichten Studien zu Krebs bei Versuchstieren herangezogen: Alle Originalveröffentlichungen (43), die in die IARC-Monographie aufgenommen wurden, wurden analysiert und in diesem Bericht ebenfalls referenziert; selbstverständlich haben wir für diesen Bericht nur die endgültige IARC-Einstufung berücksichtigt. Nach 2011 wurden sieben geeignete ausreichende Studien veröffentlicht.

In dieser Phase wurde außerdem eine Abgrenzung basierend auf dem Frequenzbereich durchgeführt: Von den 7 einbezogenen Veröffentlichungen berichteten alle über Expositionen, die zu dem in FR1 betrachteten Frequenzband gehören, und keine berichtete über Expositionen bezüglich FR2 (Abb. 11).

Zu jedem ausgewählten Artikel werden eine Zusammenfassung und die Tabellen, in denen die wichtigsten Informationen zusammengefasst werden, vorgelegt; Darüber hinaus hat ein anerkannter Experte ihre Eignung für die Bewertung karzinogener Wirkungen (ausreichend/unzureichend) beurteilt und eine Gesamtsynthese der Ergebnisse (positiv/negativ/mehrdeutig) gemäß den im Kapitel zur Methodik beschriebenen Kriterien abgegeben.

Abbildung 11 – Flussdiagramm. Krebs in Studien an Versuchstieren, FR1:

**SCHLÜSSELREFERENZ: IARC 2013 (43 Studien)**

Die IARC-Monographie 102 ist die Schlüsselreferenz für die vorliegende Überprüfung. Die Bewertung der zu diesem Zeitpunkt verfügbaren ausreichenden Studien wird im Folgenden dargestellt (IARC, 2013).

Im Mai 2011 kamen 30 Wissenschaftler aus 14 Ländern bei der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) in Lyon, Frankreich, zusammen, um die Karzinogenität hochfrequenter elektromagnetischer Felder (HF-EMF) zu bewerten. Diese Bewertungen wurden als Ausgabe 102 der IARC-Monographien (IARC, 2013) veröffentlicht.

Vier Klassen von Krebs-Bioassays bei Tieren wurden von der Arbeitsgruppe überprüft und bewertet. Diese Studien umfassten eine Reihe von Tiermodellen, Expositionskennzahlen, Expositionsdauer und andere Kriterien, auf denen die Bewertung der Karzinogenität beruhte.



Die Arbeitsgruppe bewertete Folgendes:

-7 Zwei-Jahres Krebs-Bioassays mit HF-Strahlung, zwei an Mäusen und fünf an Ratten; sechs Studien wurden durchgeführt, um die Auswirkungen der Exposition gegenüber von Mobiltelefonen ausgehenden HF-Kennmaße zu untersuchen, und eine Studie betraf die Exposition gegenüber gepulster HF-Strahlung. Im Vergleich zu Sham-Kontrollen (Scheinkontrollen) wurde bei Tieren, die HF-Strahlung von Mobiltelefonen ausgesetzt waren, in keiner Studie ein statistisch signifikanter Anstieg der Inzidenz gutartiger oder bösartiger Gewebsneubildungen an irgendeiner Organstelle festgestellt. In der Studie mit Exposition gegenüber gepulster HF-Strahlung wurde bei Ratten eine erhöhte Inzidenz aller bösartigen Tumoren (alle Stellen zusammengenommen) beobachtet. Die Arbeitsgruppe war jedoch der Auffassung, dass dieses Ergebnis nur von begrenzter biologischer Bedeutung ist, da es aus der Zusammenfassung nicht signifikanter Veränderungen der Tumorzinzenz an verschiedenen Stellen resultiert. Die Exposition gegenüber HF-Strahlung führte in keiner der anderen sechs bewerteten Studien zu einem Anstieg der Gesamtumorinzenz. Die Arbeitsgruppe schlussfolgerte, dass die Ergebnisse der 2-Jahres-Krebs-Bioassays keine Evidenz dafür liefern, dass eine langfristige Exposition gegenüber HF-Strahlung die Inzidenz gutartiger oder bösartiger Gewebsneubildungen bei standardmäßig gezüchteten Mäusen oder Ratten erhöht.

- 12 Studien, in denen vier verschiedene tumoranfällige Tiermodelle herangezogen wurden; in zwei dieser Studien wurde eine erhöhte Inzidenz von Tumoren bei Tieren nachgewiesen, die HF-Strahlung ausgesetzt waren. In der ersten Studie mit positiven Ergebnissen wurde eine erhöhte Inzidenz von Lymphomen bei *Eμ-Pim1-transgenen* Mäusen gezeigt, die einer GSM-Mobilfunkstrahlung bei 900 MHz ausgesetzt waren; zwei nachfolgende Studien anderer Prüfer, die dasselbe Modellsystem heranzogen, konnten dieses Ergebnis jedoch nicht bestätigen. In der zweiten Studie mit positiven Ergebnissen wurde bei C3H/HeA-Mäusen, die einer HF-Strahlung von 2 450 MHz ausgesetzt waren, eine erhöhte Inzidenz von Tumoren der Brustdrüse beobachtet. Wenngleich zwei spätere Studien, die dieselbe Expositionskennzahl verwendeten, dieses Ergebnis nicht bestätigten, gilt es zu bedenken, dass diese Folgestudien bei niedrigeren Expositionshöhen durchgeführt wurden. Die Arbeitsgruppe schlussfolgerte, dass die Ergebnisse von Studien an drei tumoranfälligen Tiermodellen (das *Eμ-Pim1*-Mausmodell für Lymphome, das *AKR*-Mausmodell für Lymphome und das *Patched1*-Mausmodell für Krebserkrankungen des Gehirns) die Hypothese, dass die Inzidenz von Tumoren im Gehirn oder im lymphatischen Gewebe als Folge der Exposition gegenüber HF-Strahlung zunimmt, nicht stützen.

- 16 Studien zur Auslösung und Förderung von Krebserkrankungen, die mit Tiermodellen der Tumorgenese in Haut, Brustdrüse, Gehirn und lymphatischem Gewebe durchgeführt wurden. In keiner der fünf Studien an Hautkrebsmodellen und in keiner der sechs Studien an Hirnkrebsmodellen wurde ein Zusammenhang mit der Exposition gegenüber HF-Strahlung gezeigt. Eine von vier Studien mit dem Modell des Brustdrüsentumors bei Sprague-Dawley-Ratten ergab positive Ergebnisse; die anderen drei Studien – eine davon mit einem nahezu identischen Prüfplan – zeigten keinen Zusammenhang, obwohl sie das gleiche Versuchsmodell und die gleichen Bedingungen für die Exposition gegenüber HF-Strahlung anwendeten. Gleichermäßen war die Studie mit dem Modell des Lymphoms negativ. Die Arbeitsgruppe kam zu dem Schluss, dass die Evidenz aus diesen Studien zur Auslösung und Förderung der Krebsentstehung in keinem der untersuchten Gewebe ein einheitliches Muster der Verstärkung der Karzinogenese durch die Exposition gegenüber HF-Strahlung nachweisen konnte.

6 Studien zur Co-Karzinogenese unter Verwendung von fünf verschiedenen Tiermodellen. Es wurde über vier positive Reaktionen berichtet. In zwei Studien mit positiven Ergebnissen, einer an Wistar-Ratten, die kontinuierlich MX-haltigem Trinkwasser – einem Nebenprodukt der Wasserdesinfektion – ausgesetzt waren, und einer weiteren Studie an schwangeren B6C3F1-Mäusen, denen eine Einzeldosis Ethylnitrosoharnstoff verabreicht wurde, fand eine Exposition gegenüber HF-Strahlung von Mobiltelefonen bei 900 bzw. 1 966 MHz statt. Die beiden anderen Studien mit positiven Ergebnissen betrafen die gleichzeitige Exposition von BALB/c-Mäusen gegenüber HF-Strahlung bei 2 450 MHz und Benzo[a]pyren. Zwar wurde der Wert von zwei dieser Studien durch ihre unbekannte Relevanz für

Krebserkrankungen beim Menschen abgeschwächt, jedoch kam die Arbeitsgruppe zu dem Schluss, dass sie zusätzliche Evidenz für die Karzinogenität von HF-Strahlung bei Versuchstieren liefern.

Die Schlussfolgerung für die Bewertung der Tierversuche lautete: „*Es gibt begrenzte Evidenz bei Versuchstieren für die Karzinogenität von Hochfrequenzstrahlung*“ (IARC, 2013).

### **- ÜBERPRÜFUNG DER TIERSTUDIEN 2011–2020**

In der vorliegenden Überprüfung werden die Tierstudien ab 2011 nach Art der Studie und nach Jahr der Veröffentlichung (2011–2020) ausgewertet und in Tabellen 3 (a, b, c, d) zusammengefasst. Die Autorin fügt den kurzen Zusammenfassungen ihre eigenen kurzen Anmerkungen zu den Ergebnissen der verschiedenen Studien hinzu.

### **ZWEI-JAHRES-KREBS-BIOASSAY AN MÄUSEN (Tabelle 8a)**

#### **1. NTP TR 596, 2018.**

GSM-modulierte HFS, B6C3F1/N-Mäuse (M, W) über einen Zeitraum von 24 Monaten, Studie zur Karzinogenität.

Gruppen von 105 männlichen und 105 weiblichen Mäusen wurden in Hallräumen untergebracht und am ganzen Körper GSM-modulierter, von Mobiltelefonen ausgehender HFS mit einer Leistung von 0 (Scheinkontrolle), 2,5, 5 oder 10 W/kg ausgesetzt, und zwar 9 Stunden und 10 Minuten pro Tag, 7 Tage pro Woche über einen Zeitraum von 106 (Männchen) oder 108 (Weibchen) Wochen mit einem kontinuierlichen Wechsel von 10 Minuten aktivierter Strahlung und 10 Minuten nicht aktivierter Strahlung während eines Zeitraums von 18 Stunden und 20 Minuten pro Tag. Die Scheinkontrolltiere waren in den gleichen Hallräumen untergebracht wie die exponierten Gruppen, wurden aber keiner HFS ausgesetzt; gemeinsam genutzte Gruppen von nicht exponierten Mäusen beider Geschlechter dienten als Scheinkontrollen für beide HFS-Modulationen. Fünfzehn Mäuse pro Gruppe wurden nach 10 Wochen Studienlaufzeit zufällig aus der Kerngruppe ausgewählt; 10 dieser 15 Mäuse pro Gruppe wurden für eine Zwischenauswertung nach 14 Wochen herangezogen, und fünf Mäuse pro Gruppe wurden für Prüfungen der Genotoxizität nach 14 Wochen herangezogen. Die übrigen 90 Tiere pro Gruppe wurden bis zu 2 Jahre lang exponiert. In der 2-Jahres-Studie war die prozentuale Überlebensrate bei den 5 W/kg-Männchen signifikant höher als in der Scheinkontrollgruppe. Die Überlebensraten der anderen exponierten Gruppen von männlichen und weiblichen Tieren waren im Allgemeinen ähnlich wie bei den Scheinkontrollen. Das durchschnittliche Körpergewicht der exponierten männlichen und weiblichen Gruppen war während der gesamten Studie mit dem der Scheinkontrollen vergleichbar. Die kombinierte Inzidenz von Fibrosarkomen, Sarkomen oder malignen fibrösen Histiocyten der Haut war bei Männchen mit 5 und 10 W/kg erhöht, wenn auch nicht signifikant oder in einer mit der SAR zusammenhängenden Weise; Die Inzidenzen überstiegen jedoch die gesamten historischen Kontrollbereiche für maligne fibröse Histiocyten. In der Lunge war bei Männchen ein signifikanter positiver Trend in Bezug auf die Häufigkeit von alveolären/bronchiolären Adenomen oder Karzinomen (kombiniert) zu beobachten. Im Vergleich zu den Scheinkontrollen wiesen alle exponierten Gruppen von Weibchen eine erhöhte Inzidenz von malignen Lymphomen auf, wobei die Inzidenz in den Gruppen mit 2,5 und 5 W/kg signifikant erhöht war. Die Scheinkontrollgruppe wies eine niedrige Inzidenz bösartiger Lymphome auf, verglichen mit dem Bereich, der bei historischen Kontrollen festgestellt wurde. Es gab keine nichtneoplastischen Läsionen, die mit der Exposition durch von GSM-modulierter, von Mobiltelefonen ausgehender HFS in Verbindung gebracht wurden.

#### **2. NTP TR 596, 2018.**

CDMA-modulierte HFS, B6C3F1/N-Mäuse (M, W) über einen Zeitraum von 24 Monaten, Studie zur Karzinogenität.

Gruppen von 105 männlichen und 105 weiblichen Mäusen wurden in Hallräumen untergebracht und am ganzen Körper CDMA-modulierter, von Mobiltelefonen ausgehender HFS mit einer Leistung von 0 (Scheinkontrolle), 2,5, 5 oder 10 W/kg ausgesetzt, und zwar 9 Stunden und 10 Minuten pro Tag, 7 Tage pro Woche über einen Zeitraum von 106 (Männchen) oder 108 (Weibchen) Wochen mit einem kontinuierlichen Wechsel von 10 Minuten aktivierter Strahlung und 10 Minuten nicht aktivierter Strahlung während eines Zeitraums von 18 Stunden und 20 Minuten pro Tag. Die Scheinkontrolltiere waren in den gleichen Hallräumen untergebracht wie die exponierten Gruppen, wurden aber keiner HFS ausgesetzt; gemeinsam genutzte Gruppen von nicht exponierten Mäusen beider Geschlechter dienten als Scheinkontrollen für beide HFS-Modulationen. Fünfzehn Mäuse pro Gruppe wurden nach 10 Wochen Studienlaufzeit zufällig aus der Kerngruppe ausgewählt; 10 dieser 15 Mäuse pro Gruppe wurden für eine Zwischenauswertung nach 14 Wochen herangezogen, und fünf Mäuse pro Gruppe wurden für Prüfungen der Genotoxizität nach 14 Wochen herangezogen. Die übrigen 90 Tiere pro Gruppe wurden bis zu 2 Jahre lang exponiert. Die prozentuale Überlebensrate war in der 2-Jahres-Studie bei den 2,5 W/kg-Männchen signifikant höher als bei den Scheinkontrollen. Die Überlebensraten der männlichen und weiblichen Tiere in allen anderen exponierten Gruppen waren im Allgemeinen ähnlich wie bei den Scheinkontrollen. Das durchschnittliche Körpergewicht der exponierten männlichen und weiblichen Gruppen war während der gesamten Studie mit dem der Scheinkontrollen vergleichbar. Bei 5 W/kg-Männchen wurde eine signifikant erhöhte Inzidenz von Hepatoblastomen festgestellt. Im Vergleich zu den Scheinkontrollen war die Inzidenz von malignen Lymphomen in allen exponierten Gruppen von Weibchen erhöht, und der Anstieg war in der 2,5 W/kg-Gruppe signifikant. Wie bereits bei der GSM-Studie angemerkt, wies die gemeinsam genutzte Scheinkontrollgruppe eine niedrige Inzidenz von malignen Lymphomen auf, verglichen mit dem bei historischen Kontrollen beobachteten Bereich. Es gab keine nichtneoplastischen Läsionen, die mit der Exposition durch CDMA-modulierter, von Mobiltelefonen ausgehender HFS in Verbindung gebracht wurden.

Umfassende Zusammenfassung: Unter den Bedingungen dieser 2-Jahres-Studien gab es mehrdeutige Evidenz für eine karzinogene Aktivität von GSM-modulierter, von Mobiltelefonen ausgehender HFS bei 1 900 MHz bei männlichen B6C3F1/N-Mäusen, basierend auf der kombinierten Inzidenz von Fibrosarkomen, Sarkomen oder malignen fibrösen Histiozytomen in der Haut und der Inzidenz von alveolären/bronchiolären Adenomen oder Karzinomen (kombiniert) in der Lunge. Bei weiblichen B6C3F1/N-Mäusen gab es mehrdeutige Evidenz für die karzinogene Wirkung von GSM-modulierter, von Mobiltelefonen ausgehender HFS bei 1 900 MHz, basierend auf der Inzidenz von malignen Lymphomen (alle Organe). Bei männlichen B6C3F1/N-Mäusen gab es mehrdeutige Evidenz für die karzinogene Wirkung von CDMA-modulierter, von Mobiltelefonen ausgehender HFS bei 1 900 MHz, basierend auf der Inzidenz von malignen Hepatoblastomen. Bei weiblichen B6C3F1/N-Mäusen gab es mehrdeutige Evidenz für die karzinogene Wirkung von CDMA-modulierter, von Mobiltelefonen ausgehender HFS bei 1 900 MHz, basierend auf der Inzidenz von malignen Lymphomen (alle Organe).

**Zusammenfassende Anmerkung: Mehrdeutige Evidenz für Karzinogenität bei Mäusen für GSM- und CDMA-modulierte HFS.**

## ZWEI-JAHRES-KREBS-BIOASSAY AN MÄUSEN (Tabelle 9a)

### 3. NTP TR 595, 2018.

GSM-modulierter HFS, Harlan-SD-Ratten (M, W), pränatale Exposition über einen Zeitraum von 24 Monaten, Karzinogenitätsstudie.

Ab GT5 wurden Gruppen von 56 zeitlich abgeglichenen weiblichen F0-Ratten in speziell konstruierten Hallräumen untergebracht und 7 Tage pro Woche über die gesamte Trächtigkeit und Laktation hinweg gegenüber GSM-modulierter, von Mobiltelefonen ausgehender HFS bei Leistungspegeln von 0 (Scheinkontrolle), 1,5, 3 oder 6 W/kg exponiert. Die Exposition dauerte bis zu 18 Stunden und 20 Minuten pro Tag, mit einem kontinuierlichen Wechsel von 10 Minuten aktivierter Strahlung und 10 Minuten nicht

aktivierter Strahlung während der Expositionszeiträume. Pro Geschlecht gab es sieben Expositionsgruppen, einschließlich einer gemeinsamen Scheinkontrolle und drei Expositionsgruppen für jede Modulation. Nach dem Absetzen wurden drei männliche und drei weibliche Tiere pro Wurf aus 35 Würfen zufällig pro Expositionsgruppe zur Fortsetzung des Versuchs ausgewählt. Das Absetzen erfolgte an dem Tag, an dem der letzte Wurf PNT 21 erreichte, was den Beginn der zweijährigen Studien darstellte. Gruppen von 105 männlichen und 105 weiblichen F1-Nachkommen wurden bis zu 104 Wochen lang ganzkörperlich mit GSM-modulierter, von Mobiltelefonen ausgehender HFS bei denselben Leistungspegeln und unter demselben Expositionsmuster an sieben Tagen pro Woche exponiert. Nach 14 Wochen Exposition wurden 10 Ratten pro Gruppe nach dem Zufallsprinzip für eine zwischenzeitliche histopathologische Auswertung ausgewählt, und fünf Ratten wurden für die Bewertung der Genotoxizität bestimmt. Am Ende der 2-Jahres-Studien wurde in allen exponierten männlichen Gruppen und in der weiblichen Gruppe mit 3 W/kg ein bösartiges Schwannom (synonym: Neurinom) im Herzen beobachtet, während in den Scheinkontrollen keine derartige Erkrankung auftrat. Außerdem trat bei einem einzelnen 1,5 W/kg-Männchen und zwei 6 W/kg-Männchen eine endokardiale Schwannzell-Hyperplasie auf. Auch die Inzidenz von Kardiomyopathien des rechten Ventrikels war bei männlichen und weiblichen Tieren mit 3 und 6 W/kg signifikant erhöht. Im Gehirn von Männchen war in allen exponierten Gruppen die Inzidenz von malignen Gliomen und Gliazellhyperplasien erhöht, in den Scheinkontrollen hingegen nicht. In allen exponierten Gruppen war außerdem die Inzidenz gutartiger oder bösartiger Granularzelltumoren erhöht. Es gab eine signifikant erhöhte Inzidenz von gutartigen Phäochromozytomen und gutartigen, bösartigen oder komplexen Phäochromozytomen (kombiniert) des Nebennierenmarks bei Männchen, die 1,5 oder 3 W/kg ausgesetzt wurden. Im Nebennierenmark von Weibchen, die 6 W/kg ausgesetzt wurden, kam es zu einer signifikant erhöhten Inzidenz von Hyperplasie. In der Prostata männlicher Ratten gab es eine erhöhte Inzidenz von Adenomen oder Adenomen oder Karzinomen (kombiniert) bei 3 W/kg-Männchen und Epithelhyperplasie in allen exponierten männlichen Gruppen. In der Hypophyse (Pars distalis) war in allen exponierten männlichen Gruppen eine erhöhte Inzidenz von Adenomen zu verzeichnen. In allen exponierten Gruppen männlicher Ratten kam es auch zu einer erhöhten Inzidenz von Adenomen oder Karzinomen (kombiniert) der Pankreasinseln, aber nur die Inzidenz in der 1,5 W/kg-Gruppe war signifikant. Bei weiblichen Ratten gab es in allen exponierten Gruppen eine signifikant erhöhte Inzidenz von C-Zell-Hyperplasie der Schilddrüse und eine signifikant erhöhte Inzidenz von Hyperplasie der Nebennierenrinde in den Gruppen mit 3 und 6 W/kg.

GSM-modulierte HFS: Unter den Bedingungen dieser zweijährigen Ganzkörper-Expositionsstudie gab es eindeutige Evidenz für die karzinogene Wirkung von GSM-modulierter, von Mobiltelefonen ausgehender HFS bei 900 MHz bei männlichen Hsd:Sprague-Dawley-SD-Ratten basierend auf der Inzidenz von malignen Herzschnannomen. Die Inzidenz bösartiger Gliome des Gehirns und gutartiger, bösartiger oder komplexer Phäochromozytome (kombiniert) des Nebennierenmarks wurde ebenfalls mit der Exposition gegenüber HFS in Verbindung gebracht. Die Inzidenz von gut- oder bösartigen Granularzelltumoren des Gehirns, Adenomen oder Karzinomen (kombiniert) der Prostata, Adenomen der Pars distalis der Hypophyse und Adenomen oder Karzinomen der Inselzellen der Bauchspeicheldrüse (kombiniert) könnte mit der Exposition gegenüber HFS in Zusammenhang stehen. Bei weiblichen Hsd:Sprague-Dawley-SD-Ratten gab es mehrdeutige Evidenz für die karzinogene Wirkung von GSM-modulierter, von Mobiltelefonen ausgehender HFS bei 900 MHz basierend auf der Inzidenz von Herzschnannomen. Bei männlichen Ratten kam es zu einer Zunahme nichtneoplastischer Läsionen des Herzens, des Gehirns und der Prostata und bei weiblichen Ratten zu einer Zunahme dieser Läsionen des Herzens, der Schilddrüse und der Nebenniere bei Exposition mit GSM-moduliertem HFS bei 900 MHz.

**Anmerkung: Positive Evidenz für Karzinogenität im Hinblick auf maligne Schwannome (Neurinome) des Herzens im Zusammenhang mit HF-EMF-Exposition im Nahfeld (GSM-modulierte HFS); die Inzidenz bösartiger Gliome des Gehirns und gutartiger, bösartiger oder komplexer Phäochromozytome (kombiniert) des Nebennierenmarks wurde ebenfalls mit der Exposition gegenüber HFS in Verbindung gebracht. Anmerkung: Hirntumoren und Neurinome sind in epidemiologischen Studien ebenfalls erhöht.**

#### 4. Falcioni et al., 2018.

SD-Ratten (M, W), pränatale Exposition bis zum Spontanod, Karzinogenitätsstudie.

Männliche und weibliche Sprague-Dawley-Ratten wurden vom pränatalen Leben bis zum natürlichen Tod 19 Stunden/Tag einem 1,8-GHz-GSM-Fernfeld von 0, 5, 25 und 50 V/m als Ganzkörperexposition ausgesetzt. Bei der höchsten Dosis (50 V/m) wurde bei den behandelten männlichen Ratten ein statistisch signifikanter Anstieg der Inzidenz von Herzschnannomen beobachtet. Darüber hinaus wurde bei den behandelten männlichen und weiblichen Ratten bei der höchsten Dosis (50 V/m) eine Zunahme von Hyperplasien der Schwann-Zellen des Herzens beobachtet, obwohl dies nicht statistisch signifikant war. Bei der höchsten Dosis (50 V/m) wurde bei den behandelten weiblichen Ratten ein Anstieg der Inzidenz bösartiger Gliome beobachtet, der jedoch statistisch nicht signifikant war. Die RI-Ergebnisse zur Exposition gegenüber HFS im Fernfeld stimmen mit den Ergebnissen der NTP-Studie über die Exposition im Nahfeld überein und stützen diese, da in beiden Studien ein Anstieg der Inzidenz von Tumoren des Gehirns und des Herzens bei HFS-exponierten Sprague-Dawley-Ratten festgestellt wurde. Diese Tumoren sind vom gleichen Histotyp wie die, die in einigen epidemiologischen Studien über Mobiltelefonnutzer beobachtet wurden. Diese experimentellen Studien liefern ausreichende Evidenz, damit die Forderung einer Neubewertung der IARC-Schlussfolgerungen hinsichtlich des karzinogenen Potenzials von HFS beim Menschen gerechtfertigt ist.

**Anmerkung: Positive Evidenz für einen Zusammenhang zwischen Exposition gegenüber HF-EMF im Fernfeld (Umwelt) und einer Zunahme von Herzschnannomen („Neurinom“ ist ein Synonym) [die Veröffentlichung der gesamten Studie ist noch im Gange]. Anmerkung: Hirntumoren und Neurinome sind in epidemiologischen Studien ebenfalls erhöht.**

#### TUMORANFÄLLE MÄUSE (Tabelle 10 a)

##### 5. Lee et al., 2011

AKR/J-Mäuse (M, W), 42 Wochen (~10 Monate), anfällig für Lymphome.

Es wurden die karzinogenen Wirkungen von HF-EMF mit kombiniertem Signal auf AKR/J-Mäuse, die für das Lymphom-Tiermodell herangezogen wurden, untersucht. Sechs Wochen alte AKR/J-Mäuse wurden gleichzeitig zwei Arten von HF-Signalen ausgesetzt: einfaches Codemultiplexverfahren (code division multiple access, CDMA) und Breitband-Codemultiplexverfahren (wideband code division multiple access, WCDMA). AKR/J-Mäuse wurden 45 Minuten/Tag, 5 Tage/Woche und insgesamt 42 Wochen lang kombinierten HF-EMF ausgesetzt. Die ganzkörpergemittelte spezifische Absorptionsrate (SAR) der CDMA- und WCDMA-Felder betrug jeweils 2,0 W/kg und insgesamt 4,0 W/kg. Bei der Untersuchung des endgültigen Überlebens sowie der Inzidenz von Lymphomen und Splenomegalie wurden keine Unterschiede zwischen schein- und HF-exponierten Mäusen festgestellt. Allerdings unterschied sich das Auftreten einer Infiltration von Metastasen ins Gehirn bei an einem Lymphom erkrankten Mäusen zwischen HF-exponierten Mäusen und scheinexponierten Mäusen signifikant, auch wenn keine konsistente Korrelation (Zunahme oder Abnahme) zwischen männlichen und weiblichen Mäusen beobachtet wurde. Das Auftreten von Infiltrationen in Leber, Lunge und Milz unterschied sich jedoch nicht zwischen den beiden Gruppen. Basierend auf den Ergebnissen legten wir die Vermutung nahe, dass die gleichzeitige Exposition gegenüber CDMA- und WCDMA-HF-EMF keinen Einfluss auf die Entwicklung von Lymphomen bei AKR/J-Mäusen hat.

**Anmerkung: Kurze Expositionsdauer. Die Exposition hatte keinen Einfluss auf die Entwicklung von Lymphomen bei AKR/J-Mäusen.**



**STUDIEN ZUR FÖRDERUNG VON ERKRANKUNGEN BEI MÄUSEN (Tabelle 11a)**

## 6. Lerchl et al., 2015, B6C3F1-Mäuse (W), 24 Monate, Studie zur Förderung von Erkrankungen.

(Tillmann et al., 2010) deutete auf tumorfördernde Wirkungen von HF-EMF hin. Es wurde eine Wiederholungsstudie mit einer größeren Anzahl von Tieren pro Gruppe und zwei zusätzlichen Expositionshöhen (0 [Schein], 0,04, 0,4 und 2 W/kg SAR) durchgeführt. Die Anzahl der Tumoren in Lunge und Leber war bei den exponierten Tieren signifikant höher als bei den scheinexponierten Kontrolltieren. Außerdem stellte man fest, dass auch Lymphome durch die Exposition signifikant erhöht sind. Eine eindeutiger Dosis-Wirkungs-Beziehung war nicht vorhanden. Wir stellen die Hypothese auf, dass diese tumorfördernden Wirkungen möglicherweise durch expositionsbedingte Stoffwechseleränderungen verursacht werden. Da viele der tumorfördernden Wirkungen in unserer Studie bei niedrigen bis mittleren Expositionshöhen (0,04 und 0,4 W/kg SAR) beobachtet wurden, also weit unter den Expositionsgrenzwerten für die Nutzer von Mobiltelefonen, sind weitere Studien gerechtfertigt, um die zugrunde liegenden Mechanismen zu untersuchen. Unsere Ergebnisse könnten dazu beitragen, die immer wieder berichteten vermehrten erhöhten Inzidenzen bei Intensivnutzern von Mobiltelefonen zu verstehen.

**Anmerkung: Die Studie ist keine exakte Replikation der Studie von Tillmann et al. (2010). Sie zeigt positive Evidenz für einen Zusammenhang zwischen Lungentumoren, Lebertumoren und Lymphomen und der Exposition gegenüber HF-EMF.**

Tabelle 8 – Krebs bei Versuchstieren: Zwei-Jahres-Krebs-Bioassays an Mäusen (450–6 000 MHz) (a)

Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Dauer, Art der Studie	HF-Expositionshöhe Frequenzen, Intensitäten; Andere Co-Expositionen	Expositionszeit – Anzahl der Tiere	Erhöhte Inzidenz von Tumoren (Signifikanz)	Anmerkungen
<b>1. NTP TR 596</b> , B6C3F1/N-Mäuse (M, W), pränatale Exposition über einen Zeitraum von 24 Monaten, Karzinogenitätsstudie, 2018	GSM (1 900 MHz), 2,5, 5 und 10 W/kg	9 Stunden/Tag, 7 Tage/Woche, 105/Geschlecht/Gruppe	Kombinierte Inzidenz von Fibrosarkomen, Sarkomen oder malignen fibrösen Histiozytomen in der Haut und Inzidenz von alveolären/bronchiolären Adenomen oder Karzinomen (kombiniert) in der Lunge. Bei Weibchen erhöhte Inzidenz maligner Lymphome (alle Organe).	Ausreichend, mehrdeutig
<b>2. NTP TR 596</b> , B6C3F1/N-Mäuse (M, W), pränatale Exposition über einen Zeitraum von 24 Monaten, Karzinogenitätsstudie, 2018	CDMA (1 900 MHz), 2,5, 5 und 10 W/kg	9 Stunden/Tag, 7 Tage/Woche, 105/Geschlecht/Gruppe	Hepatoblastom. Bei Weibchen erhöhte Inzidenz maligner Lymphome (alle Organe).	Ausreichend, mehrdeutig



Tabelle 9 – Krebs bei Versuchstieren: Zwei-Jahres-Krebs-Bioassays an Ratten (450–6 000 MHz) (a)

Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Dauer, Art der Studie	HF-Expositionshöhe Frequenzen, Intensitäten; Andere Co-Expositionen	Expositionszeit – Anzahl der Tiere	Erhöhte Inzidenz von Tumoren (Signifikanz)	Anmerkungen
<b>3. NTP TR 595</b> , SD-Ratten (M, W), pränatale Exposition über einen Zeitraum von 24 Monaten, Karzinogenitätsstudie, 2018	GSM, CDMA (900 MHz), 1,5, 3, 5 W/kg	9 Stunden/Tag, 7 Tage/Woche, 105/Geschlecht/Gruppe	Hirngliom, Herzschwannom und kombiniertes Nebennierenphäochromozytom beim Männchen (p < 0,05)	Ausreichend, positiv für Herzschwannome und Hirntumoren; positiv für Nebennierentumoren
<b>4. NTP TR 595</b> , SD-Ratten (M, W), pränatale Exposition über einen Zeitraum von 24 Monaten, Karzinogenitätsstudie, 2018	GSM, CDMA (900 MHz), 1,5, 3, 5 W/kg	9 Stunden/Tag, 7 Tage/Woche, 105/Geschlecht/Gruppe	Hirngliom, Herzschwannom und kombiniertes Nebennierenphäochromozytom beim Männchen (p < 0,05)	Ausreichend, positiv für Herzschwannome und Hirntumoren; positiv für Nebennierentumoren
<b>5. Falcioni et al., 2018</b> , SD-Ratten (M, W), pränatale Exposition bis zum Spontanod, Karzinogenitätsstudie	GSM (1 800 MHz), 0,1, 0,03, 0,001 W/kg	19 Stunden/Tag, 7 Tage/Woche, 200, 400/Geschlecht/Gruppe	Herzschwannom bei Männchen (p < 0,05) und Hirngliom bei Weibchen	Ausreichend, positiv für Herzschwannome; grenzwertig für Hirntumoren

Tabelle 10a – Krebs bei Versuchstieren: tumoranfällige Mäuse (Tabelle 450–6 000 MHz) (a)

Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Dauer, Art der Studie	HF-Expositionshöhe Frequenzen, Intensitäten; Andere Co-Expositionen	Expositionszeit – Anzahl der Tiere	Erhöhte Inzidenz von Tumoren (Signifikanz)	Anmerkungen
<b>6. Lee et al., 2011</b> , AKR/J-Mäuse (M, W), 42 Wochen (~10 Monate), anfällig für Lymphome	CDMA (849 MHz) und WCDMA (1 950 MHz), 4 W/kg (kombiniert)	45 Minuten/Tag, 5 Tage/Woche, 40/Geschlecht/Gruppe	Kein statistisch signifikanter Anstieg der Tumorinzidenz	Unzureichend (kurze tägliche Exposition)

Tabelle 10b – Krebs bei Versuchstieren: Studie zur Förderung von Erkrankungen bei Mäusen (450–6 000 MHz) (a)

Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Dauer, Art der Studie	HF-Expositionshöhe Frequenzen, Intensitäten; Andere Co-Expositionen	Expositionszeit – Anzahl der Tiere	Erhöhte Inzidenz von Tumoren (Signifikanz)	Anmerkungen
<b>7. Lerchl et al., 2015</b> , B6C3F1-Mäuse (W), 24 Monate, Studie zur Förderung von Erkrankungen.	UMTS-Felder, 0,04, 0,4 und 2,0 W/kg; pränataler ENU 40 mg/kg Körpergewicht	23,5 Stunden/Tag, 7 Tage/Woche, 96/Gruppe	Lymphom, Lungenadenom und -karzinom, Leberkarzinom bei Weibchen (Tumorförderung) ( $p < 0,05$ )	Ausreichend, positiv

Tabelle 11 (zusammenfassende Tabellen 8–10) – Erhobene Daten für experimentelle Studien zu Krebs (FR1: 450–6 000 MHz)

Studie zu FR1 insgesamt*	7							
Ausreichende Studien	7							
	Ratte				Maus			
Beobachteter Tumor	Ausreichende Studien insgesamt <sup>a</sup>	Positive Ergebnisse	Mehrdeutig Ergebnisse	Negative Ergebnisse	Ausreichende Studien insgesamt <sup>b</sup>	Positive Ergebnisse	Mehrdeutig Ergebnisse	Negative Ergebnisse
Gliom	3	2	1					
Herzschwannom	3	3						
Alveoläres/bronchioläres Adenom, Karzinom					3	1	2	
Lebertumoren	2		1		3	1	2	
Nebennierenphäochromozytom	2	2						
Adenom + Karzinom der Pankreasinseln	2		2					
Adenom + Karzinom der Prostata	2		2					
Hypophysenadenom	2		2					
Lymphom					4	1	2	1
Fibrosarkom, fibrohistiozytäres Sarkom der Haut					3		2	

\*Einige der Studien umfassen mehr als eine Tumorstelle. <sup>a</sup> In 1 Studie wurden nur Teilergebnisse zu Gehirn und Herz veröffentlicht. <sup>b</sup>1 Studie zu für Lymphome anfälligen Mäusen

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE VON STUDIEN ZU KREBS BEI VERSUCHSTIEREN (FR1: 450 bis 6 000 MHz) (Tabelle 11)

Auf der Grundlage eines Volltext-Screenings gab es 50 Artikel mit Frequenzen, die für die Aufnahme in diese qualitative Synthese geeignet waren. Wie im Abschnitt über die Methodik eingehender erläutert, haben wir die IARC-Monographie 102 (IARC, 2013) als Schlüsselreferenz für alle bis 2011 veröffentlichten Studien zu Krebs bei Versuchstieren herangezogen: Alle Originalveröffentlichungen (43), die in die IARC-Monographie aufgenommen wurden, wurden analysiert und in diesem Bericht ebenfalls referenziert; selbstverständlich haben wir für diesen Bericht nur die endgültige IARC-Einstufung berücksichtigt. Nach 2011 wurden sieben geeignete ausreichende Studien veröffentlicht. Aus der vorliegenden Überprüfung wurden 7 Studien zur Karzinogenität bei Versuchstieren ausgewählt. Es wurden 4 Studien an Mäusen und 3 an Ratten durchgeführt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse findet sich in Tabelle 27.

Die Ergebnisse der 7 ausreichenden Studien lauteten wie folgt:

### - Karzinogenität bei Mäusen:

Es wurden zwei ausreichende Karzinogenitätsstudien durchgeführt, um mögliche nichtthermische schädliche Wirkungen auf die Karzinogenität im Zusammenhang mit HF-EMF-Exposition bei Mäusen zu untersuchen. Die Studien wurden vom NTP-Labor in den USA durchgeführt.

Ref.: 1: GSM-modulierte, von Mobiltelefonen ausgehende HFS bei 1 900 MHz bei männlichen B6C3F1/N-Mäusen zeigte: *positiver* Zusammenhang zwischen der HF-EMF-Exposition und der kombinierten Inzidenz von Fibrosarkomen, Sarkomen oder malignen fibrösen Histiocyten in der Haut und der Inzidenz von alveolären/bronchiolären Adenomen oder Karzinomen (kombiniert) in der Lunge. Bei weiblichen B6C3F1/N-Mäusen gab es *mehrdeutige* Evidenz für die karzinogene Wirkung, basierend auf der Inzidenz von malignen Lymphomen (alle Organe).

Ref.: 2: Bei männlichen B6C3F1/N-Mäusen gab es *mehrdeutige* Evidenz für die karzinogene Wirkung von CDMA-modulierter, von Mobiltelefonen ausgehender HFS bei 1 900 MHz, basierend auf der Inzidenz von malignen Hepatoblastomen. Bei weiblichen B6C3F1/N-Mäusen gab es *mehrdeutige* Evidenz für die karzinogene Wirkung von CDMA-modulierter, von Mobiltelefonen ausgehender HFS bei 1 900 MHz, basierend auf der Inzidenz von malignen Lymphomen (alle Organe).

Außerdem wurden an Mäusen zwei Studien mit unterschiedlichem Tiermodell und Design durchgeführt:

Ref.: 6: eine Studie an für Lymphome anfälligen Mäusen zeigte keine Zunahme von Lymphomen (*keine* Evidenz).

Ref.: 7: eine zweijährige Studie zur Förderung von Erkrankungen zeigte eine statistisch signifikante Zunahme von Lungen- und Lebertumoren bei exponierten Tieren. Außerdem stellte man fest, dass auch Lymphome durch die Exposition signifikant erhöht sind (*positiver* Zusammenhang).

### - Karzinogenität bei Ratten

Es wurden drei ausreichende Karzinogenitätsstudien durchgeführt, um mögliche nichtthermische schädliche Wirkungen auf die Karzinogenität im Zusammenhang mit HF-EMF-Exposition bei Ratten zu untersuchen. Zwei Studien wurden vom NTP-Labor in den USA (Ref.:3,4) durchgeführt, eine (teilweise veröffentlichte) Studie vom Ramazzini-Institut in Italien (Ref.:5).

Die überzeugendste Evidenz für die 3 Studien betrifft die statistisch signifikante Zunahme (*positiver* Zusammenhang) von Hirntumoren (Ref.: 3, 4) unterstützt durch den *mehrdeutigen* Zusammenhang desselben Tumors in der dritten Studie (Ref.:5) und durch den statistisch signifikanten Anstieg eines sehr seltenen Tumors des Herzens, des malignen Schwannoms, in allen 3 Studien (*positiver* Zusammenhang). Die Zunahme von Phäochromozytomen der Nebenniere war statistisch signifikant (*positiver* Zusammenhang), und Adenome + Karzinome der Pankreasinseln, Adenome + Karzinome der Prostata

sowie Hypophysenadenome waren in den behandelten Gruppen ebenfalls erhöht (Ref.: 3, 4) (*mehrdeutiger Zusammenhang*).

**FR1:** Unsere Überprüfung der experimentellen Studien an Ratten und Mäusen zeigt, dass ausreichende Evidenz für die Karzinogenität von HF-EMF bei niedrigeren Frequenzen (FR1) vorhanden ist. Die Beobachtung von Tumoren des Nervensystems (zentral und peripher) bei männlichen Ratten ist von besonderer Bedeutung, da sie die Ergebnisse epidemiologischer Studien unterstützt.

#### 4.1.4 Krebs bei Versuchstieren: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW) untersuchen.

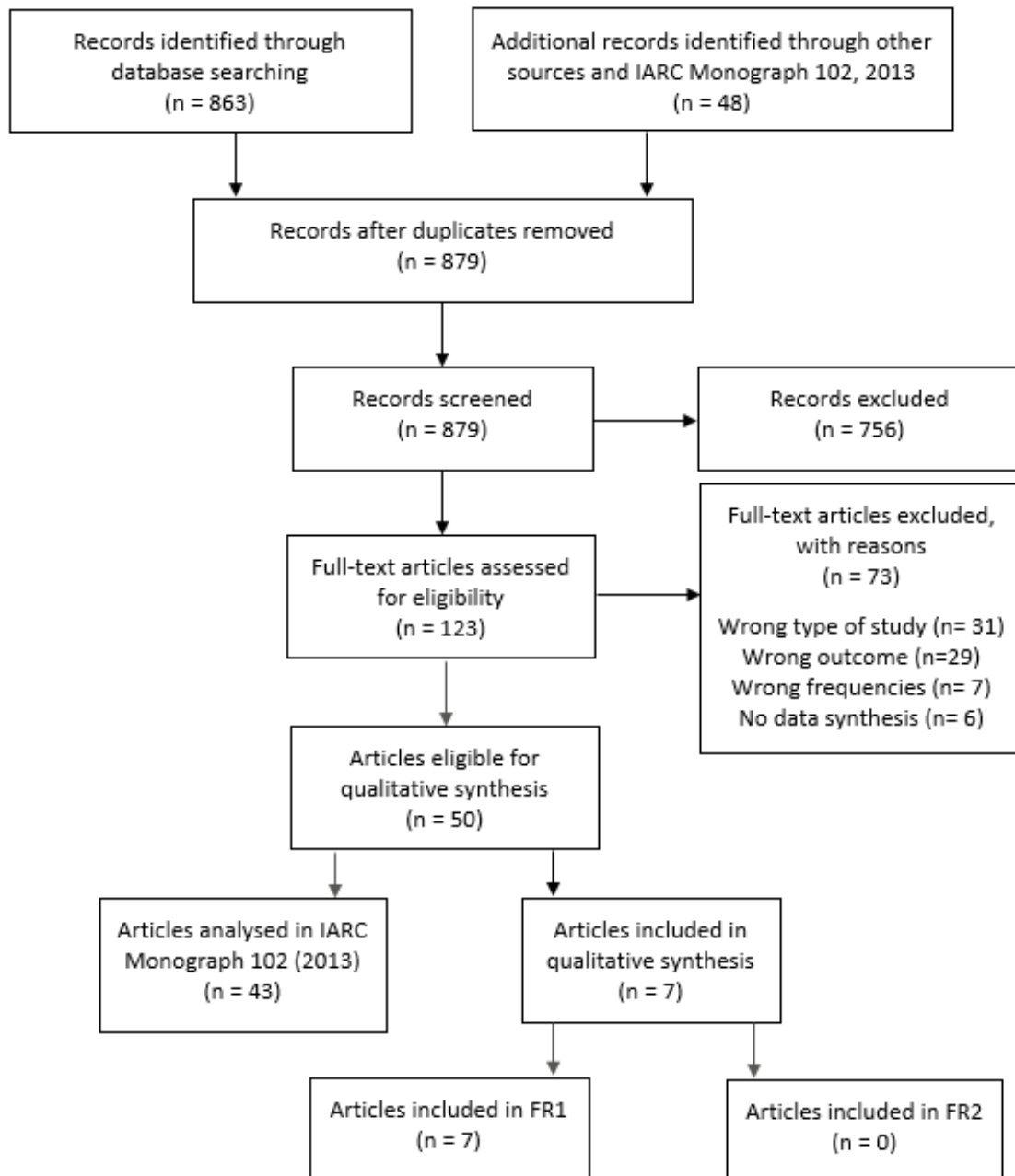
Insgesamt wurden 911 Artikel mittels Datenbanksuche und anderer Quellen ermittelt. Nach Entfernung von Duplikaten (32) und Ausschluss nicht relevanter Artikel (756) auf der Grundlage des Titels und der Zusammenfassungen verblieben 123 Artikel. Auf der Grundlage eines Volltext-Screenings wurden 73 weitere Veröffentlichungen ausgeschlossen, sodass es 50 Artikel mit Frequenzen gab, die für die Aufnahme in diese qualitative Synthese geeignet waren (Abb. 12).

Wie im Abschnitt über die Methodik eingehender erläutert, haben wir die IARC-Monographie 102 (IARC, 2013) als Schlüsselreferenz für alle bis 2011 veröffentlichten Studien zu Krebs bei Versuchstieren herangezogen: Alle Originalveröffentlichungen (43), die in die IARC-Monographie aufgenommen wurden, wurden analysiert und in diesem Bericht ebenfalls referenziert; selbstverständlich haben wir für diesen Bericht nur die endgültige IARC-Einstufung berücksichtigt. Nach 2011 wurden sieben geeignete ausreichende Studien veröffentlicht.

In dieser Phase wurde außerdem eine Abgrenzung basierend auf dem Frequenzbereich durchgeführt: Von den 7 einbezogenen Veröffentlichungen berichteten alle über Expositionen, die zu dem in FR1 betrachteten Frequenzband gehören, und keine berichtete über Expositionen bezüglich FR2.

Somit lässt sich schlussfolgern, dass es keine verfügbare Literatur über den Zusammenhang zwischen HF-Strahlung im Bereich von 24 bis 100 GHz (MMW) in experimentellen Karzinogenitätsstudien gibt.

Abbildung 12 – Flussdiagramm. Krebs in Studien an Versuchstieren, FR2



## 4.2 Schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung nach Frequenzbereich

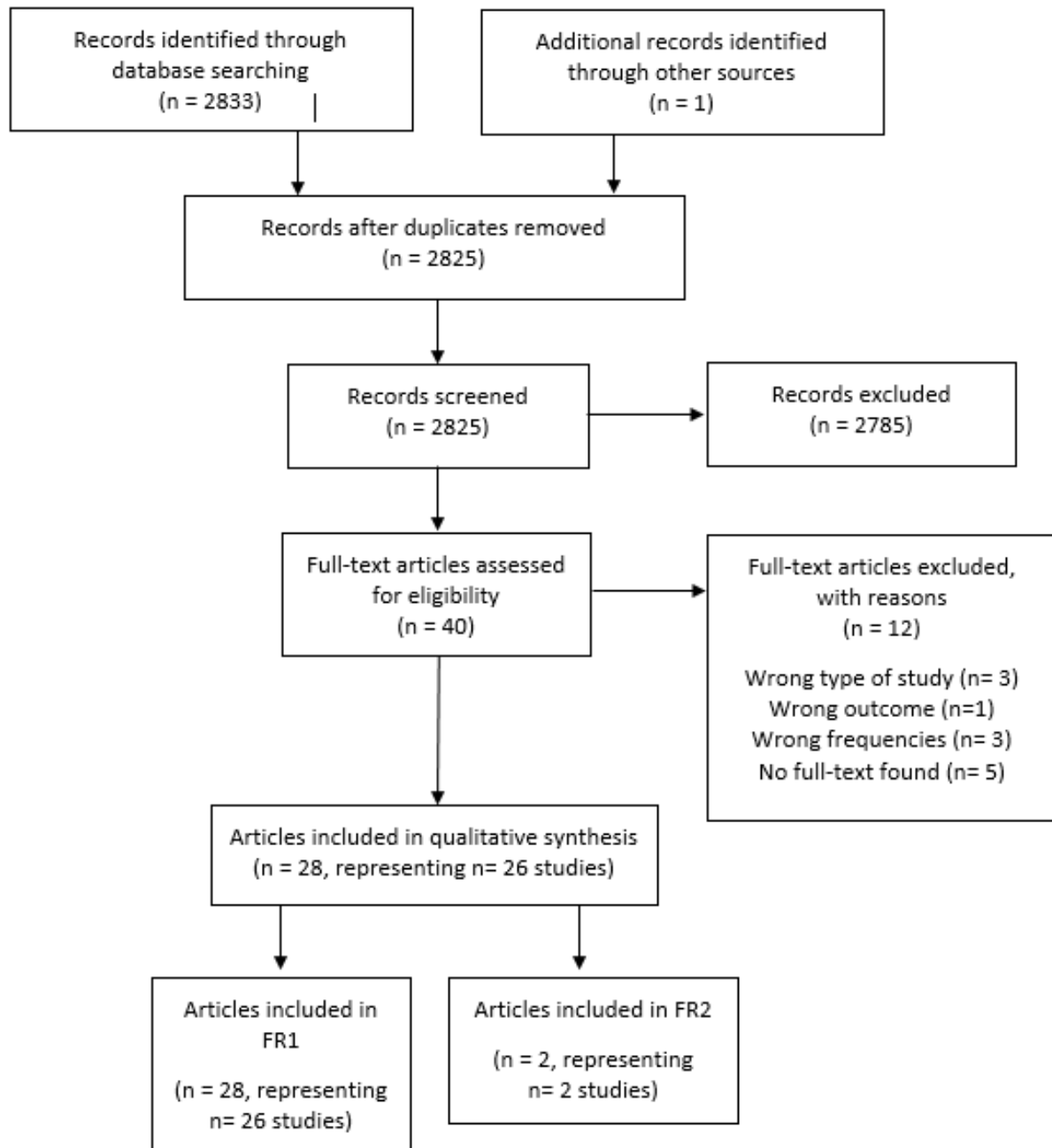
### 4.2.1 Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung in epidemiologischen Studien: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF im niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6 000 MHz) untersuchen, was auch die Frequenzen einschließt, die in den Breitband-Mobilfunknetzen früherer Generationen (1G, 2G, 3G, 4G) genutzt werden.

Durch die Datenbankrecherche und andere Quellen wurden 2 834 Artikel ermittelt. Nach Entfernung von Duplikaten (9) und Ausschluss nicht relevanter Artikel (2 785) auf der Grundlage des Titels und der Zusammenfassungen verblieben 40 Artikel. Auf der Grundlage eines Volltextscreenings wurden 12 weitere Papiere ausgeschlossen, sodass die Anzahl der veröffentlichten Artikel mit den passenden Frequenzen, die in diese qualitative Synthese einbezogen werden konnten, 28 betrug, was 26 Studien entspricht (in zwei Fällen wurden zwei Artikel veröffentlicht, die Informationen über dieselbe Studie enthielten) (Abb. 13)

In dieser Phase wurde außerdem eine Auswahl basierend auf dem Frequenzbereich vorgenommen: 28 Papiere/26 Studien bezogen sich auf Expositionen, die zum FR1-Bereich gehören, und 2 bezogen sich auch auf FR2. Diese 2 Papiere berichten über Expositionen, die sowohl für FR1 als auch für FR2 geeignet sind, sodass sie nicht zu der Gesamtzahl der eingeschlossenen Studien zählen; dieselbe Studie wird daher zweimal ausgewertet, einmal in jedem Frequenzbereich.



Abbildung 13 – Flussdiagramm. Epidemiologische Studien zu den Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung, FR1



## MÄNNLICHE FERTILITÄT

### Fall-Kontroll-Studien (Tabelle 12a)

#### 1. Al-Quzwini et al., 2016.

Irak. Fall-Kontroll-Studie.

Eine Analyse der Samenflüssigkeit ist ein klinischer Marker für die Fortpflanzungsfähigkeit von Männern. Es sollte herausgefunden werden, ob Umweltrisiken wie Mobilfunkmasten Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit von Männern haben. Zweihundert Paare wurden aufgenommen, hundert subfertile Paare als Studiengruppe ( $n = 100$ ) und hundert fertile Paare als Kontrollgruppe ( $n = 100$ ). Die Exposition gegenüber elektromagnetischer Strahlung in der Umwelt durch Mobilfunktürme und der Berufsstand wurden anhand eines Standardfragebogens ermittelt. Nur bei den subfertilen Männern wurde eine Spermaanlyse durchgeführt, da die fertilen Männer (Kontrollgruppe) die Abgabe von Spermaproben verweigerten. Das Berufsrisiko stellte einen signifikanten Unterschied zwischen der subfertilen und der Kontrollgruppe dar (38 % gegenüber 12 %) ( $p < 0,05$ ), mit einer Odds-Ratio (OR) = 4,5 und einem 95%-Konfidenzintervall (KI): 2,175–9,288, und auch der Umweltfaktor (Mobilfunkmasten im Umkreis von fünfzig Metern vom Wohnsitz) zeigte einen signifikanten Unterschied (29 % gegenüber 12 %) ( $p < 0,05$ ), mit OR = 3; 95%-KI: 1,426–6,290. Die Analyse der Samenflüssigkeit ergab bei den subfertilen Männern 40 % abnorme vs. 60 % normale Spermaanlyse-Ergebnisse. Diese Anomalien wurden zu 35 % als Oligozoospermie, zu 55 % als Asthenospermie und zu 10 % als Teratozoospermie eingestuft. Oligozoospermie war mit einem höheren Risiko am Arbeitsplatz verbunden (OR = 1,8, 95%-KI: 0,569–5,527). Teratozoospermie war mit einem höheren Risiko am Arbeitsplatz verbunden (OR = 5,23, 95%-KI: 0,524–52,204), und mit der Exposition gegenüber Umweltgefahren (OR = 2,6, 95%-KI: 0,342–19,070), und mit den Gefahren durch Rauchen (OR = 1,7, 95%-KI: 0,225–12,353). Die männliche Fertilität, die sich in der Qualität der Samenflüssigkeit widerspiegelt, könnte durch berufliche und umweltbedingte Belastungen beeinträchtigt werden, sodass die Vermeidung beruflicher und umweltbedingter Risikofaktoren eine Verbesserung der Samenqualität bei subfertilen Männern bewirken könnte.

**Anmerkung: Unzureichend/unschlüssig.**

### Querschnittstudien (Tabellen 13, a–d)

#### 2. Baste et al., 2008.

Norwegen. 2002–2004. Querschnittstudie, Exposition am Arbeitsplatz.

Die Autoren führten eine Querschnittsstudie unter beim Militär tätigen Männern durch, die bei der Königlich Norwegischen Marine beschäftigt waren. Dabei wurden Informationen über die Arbeit in der Nähe von Geräten, die hochfrequente elektromagnetische Felder ausstrahlen, über die Infertilität über einen 1-Jahres-Zeitraum, Kinder und das Geschlecht des Nachwuchses erhoben. Von den 10 497 Befragten hatten 22 % in „hohem“ oder „sehr hohem“ Ausmaß in der Nähe von Hochfrequenz-Antennen gearbeitet. Die Infertilität stieg mit zunehmender von den Befragten selbst berichteter Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern signifikant an. In einer logistischen Regression betrug die Odds-Ratio (OR) für Infertilität bei denjenigen, die in „sehr hohem Maße“ in einem Abstand von weniger als 10 m von Hochfrequenzantennen gearbeitet hatten, im Vergleich zu denjenigen, die angaben, nicht in der Nähe von Hochfrequenzantennen zu arbeiten, 1,86 (95%-Konfidenzintervall (KI)): 1,46–2,37; dies war bereinigt um Alter, Rauchgewohnheiten, Alkoholkonsum sowie Exposition gegenüber organischen Lösungsmitteln, Umgebungen, in denen Schweißarbeiten durchgeführt werden, und Blei. Eine ähnliche bereinigte OR war für Personen zu verzeichnen, die in „hohem“, „mäßigem“ und „geringem“ Maße unter diesen Bedingungen arbeiteten, und zwar 1,93 (95%-KI: 1,55–2,40), 1,52 (95%-KI: 1,25–1,84), bzw. 1,39 (95%-KI: 1,15–1,68). In allen Altersgruppen gab es signifikante lineare Trends mit einer höheren Prävalenz ungewollter Kinderlosigkeit bei höherer von den Befragten selbst berichteter Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern. Es bestand jedoch kein Zusammenhang zwischen dem Maß der Exposition

gegenüber hochfrequenter Strahlung und der Anzahl der Kinder. Für die von den Befragten selbst berichtete Exposition gegenüber Hochfrequenzantennen und -kommunikationsgeräten gab es signifikante lineare Trends mit einem niedrigeren Verhältnis von Jungen zu Mädchen bei der Geburt, wenn der Vater ein höheres Maß an Exposition gegenüber hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung angab.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Expositionshöhe. Ein höheres Maß an HF-EMF-Exposition ist mit Infertilität und einem niedrigeren Verhältnis von Jungen zu Mädchen bei der Geburt assoziiert.**

### 3. Mollerlekken und Moen, 2008.

Norwegen. 2002. Querschnitt, Exposition am Arbeitsplatz.

Das Ziel dieser Studie war es, den Zusammenhang zwischen der Exposition von Arbeitern gegenüber elektromagnetischen Feldern und ihrer Fortpflanzungsgesundheit zu untersuchen. Wir ermittelten die Daten mithilfe eines Fragebogens im Rahmen einer Querschnittsstudie unter männlichen Marinesoldaten; die Antwortrate betrug 63 % (n = 1487). Die Befragten wurden zu Exposition, Lebensweise, Fortpflanzungsgesundheit, früheren Krankheiten, Arbeit und Bildung befragt. Eine Expertengruppe führte eine Kategorisierung der Arbeitskategorien im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern durch. Wir kategorisierten die Arbeitskategorien „(Tele-)Kommunikation“, „Elektronik“ und „Radar/Sonar“ als gegenüber elektromagnetischen Feldern exponiert. Die logistische Regression, bereinigt um Alter, jemals geraucht, militärische Ausbildung und körperliche Aktivität bei der Arbeit, ergab ein erhöhtes Risiko für Infertilität hinsichtlich der Odds-Ratio für „(Tele-)Kommunikation“ ( $OR \leq 1,72$ , 95%-Konfidenzintervall 1,04–2,85) und der Odds-Ratio für „Radar/Sonar“ ( $OR \leq 2,28$ , 95%-Konfidenzintervall 1,27–4,09). Die „Elektronik“-Gruppe wies kein erhöhtes Risiko auf. Diese Studie zeigt einen möglichen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern bei der Arbeit mit Hochfrequenzgeräten und Radar und einer verminderten Fertilität. Die Ergebnisse sind allerdings mit Vorsicht zu interpretieren.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Möglicherweise erhöhtes Unfruchtbarkeitsrisiko bei Bedienern von Telekommunikationsanlagen und Radar/Sonar.**

### 4. Fejez et al., 2005.

Ungarn. Querschnittstudie.

Die Erhebung der Anamnese bei Männern in unserer Universitätsklinik wurde durch Fragen zu den Nutzungsgewohnheiten von Mobiltelefonen ergänzt, einschließlich des Besitzes, der täglichen Standby-Position und der täglichen Übertragungszeiten. Die Spermaanalysen wurden mittels herkömmlicher Methoden durchgeführt. Die Statistik wurde mit der Statistiksoftware SPSS berechnet. Insgesamt wurden 371 Teilnehmer in die Studie aufgenommen. Die Dauer des Besitzes und die tägliche Übertragungszeit korrelierten negativ mit dem Anteil der schnell progressiv beweglichen Spermien ( $r = 0,12$  bzw.  $r = 0,19$ ) und positiv mit dem Anteil der langsam progressiv beweglichen Spermien ( $r = 0,12$  bzw.  $r = 0,28$ ). Die Gruppen mit kurzer und langer Übertragungszeit unterschieden sich ebenfalls hinsichtlich des Anteils der schnell progressiv beweglichen Spermien (48,7 % gegenüber 40,6 %). Die längere Nutzung von Mobiltelefonen kann negative Auswirkungen auf die Beweglichkeitseigenschaften der Spermien haben.

**Anmerkung: Exposition von den Befragten selbst berichtet. Störfaktoren nicht analysiert.**

### 5. Jurewicz et al., 2014, Radwan et al., 2016 (sie veröffentlichten dieselbe Studie).

Polen. Querschnittstudie.

Ziel der Studie war es, den Zusammenhang zwischen veränderbaren Faktoren der Lebensweise und den wichtigsten Samenparametern, der Morphologie der Spermien und der Chromatinstruktur der Spermien zu untersuchen. Die Studienpopulation bestand aus 344 Männern, die eine Fertilitätsklinik zu diagnostischen Zwecken aufsuchten und eine normale Spermienkonzentration von 20–300 M/ml oder eine leichte Oligozoospermie (Spermiengesamtkonzentration von 15–20 M/ml) aufwiesen [WHO 1999]. Die Teilnehmer wurden befragt und gaben Spermaproben ab. Die Befragung umfasste Fragen zur Demografie, zum sozioökonomischen Status, zur Krankengeschichte, zu Faktoren der Lebensweise (Alkohol- und Tabakkonsum, Kaffeeconsum, Nutzung von Mobiltelefonen und Saunabnutzung) und zur körperlichen Aktivität. Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass Faktoren der Lebensweise die Samenqualität beeinflussen können. Es wurde ein negativer Zusammenhang zwischen erhöhtem Body-Mass-Index (BMI) und Spermavolumen festgestellt ( $p \leq 0,03$ ). Die körperliche Aktivität in der Freizeit stand in einem positiven Zusammenhang mit der Spermienkonzentration ( $p \leq 0,04$ ) und der Kaffeeconsum mit

dem Prozentsatz der beweglichen Spermien und dem Prozentsatz der Anomalien an Kopf und Mittelstück der Spermien ( $p \leq 0,01$ ,  $p \leq 0,05$  bzw.  $p \leq 0,03$ ). Der Konsum von Rotwein 1- bis 3-mal pro Woche stand in einem negativen Zusammenhang mit Anomalien des Mittelstücks der Spermien ( $p \leq 0,01$ ). Darüber hinaus verringerte sich der Prozentsatz der beweglichen Spermien, wenn mehr als 10 Jahre lang Mobiltelefone genutzt wurden ( $p \leq 0,02$ ). Männer, die Boxershorts trugen, hatten einen geringeren Prozentsatz von Spermien mit Anomalien des Mittelstücks ( $p \leq 0,002$ ) und einen geringeren Prozentsatz von Spermien mit DNA-Schäden ( $p \leq 0,02$ ). Diese Ergebnisse können wichtige Auswirkungen auf die Samenqualität und die Lebensweise haben.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Die Ergebnisse könnten durch verschiedene Störfaktoren beeinflusst sein.**

#### 6. Yildirim et al., 2015.

Türkei. Querschnittstudie.

Die männlichen Patienten, die unsere Fertilitätsklinik aufsuchen, wurden gebeten, eine Spermaprobe abzugeben und einen anonymen Fragebogen auszufüllen. Wir fragten nach der Häufigkeit der Nutzung von Mobiltelefonen und drahtlosem Internet durch die Patienten, um die Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung zu ermitteln. Insgesamt füllten 1 082 Patienten den Fragebogen aus, aber 51 von ihnen wurden wegen Azoospermie von der Studie ausgeschlossen. Es bestand kein signifikanter Unterschied bezüglich der Anzahl der Spermien und der Spermienmorphologie, ausgenommen der Spermienbeweglichkeit, aufgrund der des Mobiltelefon-Nutzungszeitraums ( $p = 0,074$ ,  $p = 0,909$  bzw.  $p = 0,05$ ). Die Gesamtanzahl beweglicher Spermien und die Anzahl progressiv beweglicher Spermien nahmen mit dem Anstieg der Internetnutzung ab ( $p = 0,032$  bzw.  $p = 0,033$ ). Analog zur Gesamtzahl der beweglichen Spermien verringerte sich auch die Anzahl der progressiv beweglichen Spermien bei drahtloser Internetnutzung im Vergleich zur Nutzung einer kabelgebundenen Internetverbindung ( $p = 0,009$  bzw.  $p = 0,018$ ). Es bestand eine negative Korrelation zwischen der Dauer der drahtlosen Internetnutzung und der Gesamtpermienzahl ( $r = -0,089$ ,  $p = 0,039$ ). Außerdem untersuchten wir die negativen Auswirkungen der drahtlosen Internetnutzung auf die Spermienbeweglichkeit gemäß unseren vorläufigen Ergebnissen.

**Anmerkung: Exposition von den Befragten selbst berichtet. Störfaktoren wurden nicht analysiert. Etwaige Unterschiede bei den Spermienparametern aufgrund der Nutzung von Mobiltelefonen und drahtlosem Internet sind die Schlussfolgerungen der Autoren.**

#### 7. Zilberlicht et al., 2015.

Israel. Querschnitt.

30–40 % aller Unfruchtbarkeitsfälle entfallen auf männliche Infertilität. Einige Studien zeigen, dass die Samenqualität seit Beginn des 20. Jahrhunderts kontinuierlich abnimmt. Ein vermuteter Einflussfaktor ist die elektromagnetische Hochfrequenzstrahlung, die von Mobiltelefonen ausgeht. In dieser Studie wird ein Zusammenhang zwischen den Eigenschaften der Nutzung von Mobiltelefonen und der Samenqualität untersucht. 106 Männer, die zur Spermaanalyse überwiesen wurden, füllten Fragebögen aus, in denen sie demografische Daten und Eigenschaften der Nutzung von Mobiltelefonen erfassten. Die Ergebnisse wurden nach den WHO-Kriterien von 2010 ausgewertet. Telefongespräche über einen Zeitraum von  $\geq 1$  Stunde/Tag und während des Aufladens des Geräts waren mit höheren Raten abnormer Spermienkonzentration verbunden (60,9 % gegenüber 35,7 %,  $p < 0,04$  bzw. 66,7 % gegenüber 35,6 %,  $p < 0,02$ ). Unter Männern, die angaben, ihr Mobiltelefon  $\leq 50$  cm von der Leistengegend entfernt zu halten, wurde eine nicht signifikant höhere Rate abnormer Spermienkonzentration festgestellt (47,1 % gegenüber 11,1 %). Die multivariate Analyse ergab, dass das Führen von Telefongesprächen beim Aufladen des Geräts und Rauchen Risikofaktoren für eine abnorme Spermienkonzentration waren (OR = 4,13 [95%-KI 1,28–

13,3],  $p < 0,018$  bzw.  $OR = 3,04$  [95%-KI 1,14–8,13],  $p < 0,027$ ). Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass bestimmte Aspekte der Nutzung von Mobiltelefonen negative Auswirkungen auf die Spermienkonzentration haben können. Eine Untersuchung mithilfe groß angelegter Studien ist daher erforderlich.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Es wurde ein gewisser Zusammenhang festgestellt.**

#### 8. Al-Bayyari, 2017.

Jordanien. Beobachtende Querschnittstudie.

Ziel war es, die Auswirkungen der Nutzung von Mobiltelefonen auf die Samenqualität und die Fertilität von Männern zu untersuchen. In einer beobachtenden Querschnittstudie wurden 159 Männer, die Fertilitätskliniken in den Gouvernements Nord, Mitte und Süd in Jordanien aufsuchten und sich einer Unfruchtbarkeitsuntersuchung unterzogen, entsprechend ihrer aktiven Nutzung von Mobiltelefonen in zwei Gruppen unterteilt: Gruppe A:  $\leq 1$  Stunde/Tag und Gruppe B:  $> 1$  Stunde/Tag. Die Patienten erhielten keine Behandlungen, und die Spermaproben wurden nach einer Enthaltsamkeitszeit von 5 Tagen durch Masturbation in einen sterilen Behälter abgegeben. Die wichtigsten Ergebnismessgrößen waren Spermienvolumen, Verflüssigungszeit, pH-Wert, Viskosität, Anzahl, Beweglichkeit und Morphologie.

Die Gesprächszeit mit dem Mobiltelefon wurde aufgezeichnet und die Patienten wurden in 2 Gruppen eingeteilt; Gruppe A  $\leq 1$  Stunde/Tag ( $n = 104$ ); Gruppe B  $> 1$  Stunde/Tag ( $n = 52$ ), und Teilnehmer, die kein Mobiltelefon nutzten ( $n = 3$ ), wurden von der statistischen Analyse zur Untersuchung der Auswirkungen der mit aus- oder eingehenden Anrufen verbrachten Zeit ausgeschlossen. Es bestanden keine statistisch signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ) zwischen den beiden Gruppen in Bezug auf die Parameter der Spermienqualität in Abhängigkeit von der Nutzung von Mobiltelefonen, aber es gab statistische Unterschiede bei der Spermienkonzentration, dem Volumen, der Viskosität, der Verflüssigungszeit und den Mittelwerten der unbeweglichen Spermien sowie der abnormen Morphologie. Darüber bestand ein signifikanter ( $p \leq 0,05$ ) Zusammenhang zwischen der Zeit, die mit Fernsehen und der Nutzung von Mobiltelefonen verbracht wurde, und der Abnahme des mittleren Prozentsatzes von Spermien mit normaler Morphologie. Es bestand ein signifikanter ( $p \leq 0,05$ ) Zusammenhang zwischen dem Abstand zum Fernmeldeturm und der Abnahme des Spermavolumens. Gleichzeitig bestand ein signifikanter Zusammenhang ( $p \leq 0,05$ ) zwischen dem Zeitaufwand für das Senden oder Empfangen von Nachrichten und einer Abnahme der Spermienzahl, und das Mitführen eines Mobiltelefons in der Hosentasche war signifikant mit einem erhöhten Anteil an unbeweglichen Spermien verbunden. Die Nutzung von Mobiltelefonen könnte sich negativ auf die Parameter der Samenqualität auswirken, und weitere Untersuchungen sind erforderlich.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Die Nutzung von Mobiltelefonen könnte sich negativ auf die Parameter der Samenqualität auswirken.**

#### 9. Shi et al., 2018.

Querschnittstudie.

Es wurden dreihundertachtundzwanzig Patienten rekrutiert, die einer Spermaanalyse unterzogen wurden. Es wurden routinemäßige Spermaanalyse, Spermienvitalität, Akrosomreaktion (AR) und Spermien-DNA-Fragmentierungsindex (DFI) analysiert. Es wurden demografische Daten und Informationen zur Lebensweise, darunter (1) BMI, (2) Häufigkeit des aktuellen Rauchens und Alkoholkonsums, (3) Schlafgewohnheiten, (4) tägliche Flüssigkeitsaufnahme, (5) wöchentlicher Fleischkonsum, (6) Häufigkeit körperlicher Aktivität, (7) Tragen/Nutzung von Mobiltelefonen in der Hose, (8) Alter und (9) Zeit der Enthaltsamkeit erhoben. Zur Analyse des möglichen nichtlinearen Zusammenhangs wurden verallgemeinerte additive Modelle herangezogen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Gesamtspermienzahl (GSZ) signifikant mit dem Alter ( $p = 0,001$ ), der Zeit der Enthaltsamkeit ( $p = 0,001$ ) und dem täglichen



Kaffeekonsum ( $p = 0,044$ ) verbunden war. Es bestand ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Spermavolumen und dem Alter ( $p < 0,001$ ) sowie dem täglichen Kaffeekonsum ( $p < 0,001$ ). Es bestand ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Spermienkonzentration und der Zeit der Enthaltbarkeit ( $p = 0,011$ ) sowie der durchschnittlichen Schlafdauer ( $p = 0,010$ ). Es bestand ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Spermienbeweglichkeit und dem Alter ( $p < 0,002$ ) sowie dem täglichen Konsum von Säften ( $p = 0,001$ ). Es bestand ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Gesamtspermienzahl und dem Alter ( $p = 0,003$ ) sowie der Zeit der Enthaltbarkeit ( $p = 0,009$ ). Es bestand ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem DFI und dem Alter ( $p = 0,002$ ), unregelmäßigen Schlafgewohnheiten ( $p = 0,008$ ) sowie der Zeit der Enthaltbarkeit ( $p = 0,032$ ). Es bestand ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem prozentualen Anteil der Spermien mit AR und dem täglichen Konsum von Säften ( $p = 0,013$ ). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass DFI und GSZ die empfindlichsten Samenparameter für demografische Daten und Merkmale der Lebensweise waren, wobei das Alter einen größeren Einfluss auf die Samenparameter hatte als andere demografische Daten und Merkmale der Lebensweise. Das Tragen bzw. die Nutzung von Mobiltelefonen in der Hose war nicht signifikant mit einer Veränderung der untersuchten Spermienparameter verbunden.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Viele Störfaktoren hinsichtlich Alter und Lebensweise. Beliebiger Zusammenhang mit Veränderung der Spermien.**

#### 10. Blay et al., 2020.

Ghana. Querschnittstudie.

Männliche Infertilität trägt bekanntermaßen zu etwa der Hälfte aller Unfruchtbarkeitsfälle bei. In Ghana ist die Prävalenz der männlichen Infertilität höher (15,8 %) als die der weiblichen (11,8 %). Die Spermienqualität hängt mit der Wahrscheinlichkeit einer Schwangerschaft zusammen und ist in 90 % der Fälle die Ursache für männliche Fertilitätsprobleme. Bestimmte Umweltfaktoren beeinträchtigen die Spermienqualität bei Männern. In der Studie wurden die Auswirkungen von Umweltfaktoren und Faktoren der Lebensweise auf die Samenqualität bei ghanaischen Männern untersucht. Materialien und Methoden. Es handelte sich um eine Querschnittsstudie mit 80 augenscheinlich gesunden erwachsenen Männern im fortpflanzungsfähigen Alter. Bei den Teilnehmern handelte es sich um Männer, die zum Labor (Immunologieabteilung des Korle-Bu Teaching Hospital) überwiesen wurden, um eine Samenanalyse und/oder eine Samenkultur und einen Empfindlichkeitstest durchzuführen. Die Teilnehmer sollten einen Fragebogen ausfüllen, in dem ausgewählte Umweltfaktoren (Unfälle oder Traumata, Exposition gegenüber Chemikalien, Strahlung und Hitze) und Lebensgewohnheiten (einschließlich Alkoholkonsum, Rauchen und ob die Teilnehmer mehr oder weniger als 4 Stunden pro Tag saßen) abgefragt wurden. Die Spermienproben wurden dann durch Masturbation in sterile Behälter abgegeben und innerhalb von 60 Minuten nach der Ejakulation und der Sammlung gemäß den WHO-Richtlinien für die Spermanalyse analysiert. Ergebnisse. Bei etwa 69 % der Teilnehmer lag der pH-Wert des Spermas im normalen Bereich, während 15 % einen pH-Wert von unter 7,2 aufwiesen. Bei Teilnehmern, die mehr als 4 Stunden pro Tag saßen, war die Zahl der unbeweglichen Spermien signifikant höher ( $p$ -Wert = 0,017) als bei Teilnehmern, die weniger als 4 Stunden pro Tag saßen. Für die Beweglichkeit und Lebensfähigkeit der aktiven Spermien war bei den Teilnehmern, die ihre Mobiltelefone in den Seitentaschen aufbewahrten, ein signifikanter Anstieg zu verzeichnen ( $p$ -Wert = 0,002 bzw. 0,009). Rauchen führte zu einem zweifachen Rückgang der Spermienzahl, da Raucher eine signifikant niedrigere Spermienzahl ( $12:28 \pm 10:95 \times 10^6/\text{ml}$ ) im Vergleich zu Nichtrauchern ( $23:85 \pm 22:14 \times 10^6/\text{ml}$ ) aufwiesen. Hinsichtlich der Infektion mit sexuell übertragbaren Krankheiten wurden zwischen den Studiengruppen keine Unterschiede bezüglich der Samenqualität erfasst. Schlussfolgerung. Die Spermienqualität ghanaischer Männer hängt mit ihren Lebensgewohnheiten zusammen. Rauchen und stundenlanges Sitzen beeinflussten die Anzahl und die Beweglichkeit der Spermien. Die Kenntnis der Faktoren, die die Spermienqualität in dieser geografischen Region beeinflussen, kann zu fundierten Entscheidungen über eine wirksame Behandlung der Infertilität bei ghanaischen Männern beitragen.



**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition, unsicher. Erhöhte Aktivität und Lebensfähigkeit, wenn das Mobiltelefon in der Seitentasche getragen wurde. Viele Störfaktoren.**

### Kohortenstudien (Tabellen 14, a–c)

#### 11. Zhang, 2016.

China. 2013–2015. Kohortenstudie.

Wenn Teilnehmer aus Fertilitätskliniken und nicht aus der Allgemeinbevölkerung rekrutiert werden, könnte dies die Möglichkeit eines Selektionsfehlers bergen. Um die Auswirkungen der Nutzung von Mobiltelefonen auf die Samenparameter in der Allgemeinbevölkerung zu untersuchen, untersuchten und dokumentierten wir die Informationen zur Nutzung von Mobiltelefonen von 794 jungen Männern aus der Kohortenstudie Male Reproductive Health in Chongqing College Students (MARHCS) im Jahr 2013, gefolgt von 666 und 568 in den Jahren 2014 bzw. 2015. In den univariaten Regressionsanalysen stellten wir fest, dass die tägliche Dauer des Telefonierens mit dem Mobiltelefon signifikant mit verringerten Samenparametern, einschließlich der Spermienkonzentration, assoziiert war [ $\beta$ -Koeffizient =  $-6,32\%$  pro Einheit täglicher Dauer des Telefonierens mit dem Mobiltelefon (Stunden); 95%-Konfidenzintervall (KI),  $-11,94, -0,34$ ] und Gesamtspermienzahl ( $-8,23$ ; 95%-KI,  $-14,38, -1,63$ ) im Jahr 2013; Spermavolumen ( $-8,37$ ; 95%-KI,  $-15,93, -0,13$ ) und Gesamtspermienzahl ( $-16,59$ ; 95%-KI,  $-29,91, -0,73$ ) im Jahr 2015]. Die Internetnutzung über Mobilfunknetze war 2013 ebenfalls mit einer geringeren Spermienkonzentration und Gesamtspermienzahl und 2015 mit einem geringeren Spermavolumen assoziiert. Es wurden multivariate Analysen durchgeführt, um die Auswirkungen potenzieller Störfaktoren auszugleichen, und die signifikanten negativen Zusammenhänge zwischen Internetnutzung und Samenparametern blieben bestehen. Konsistente, aber nicht signifikante negative Zusammenhänge zwischen dem Telefonieren mit dem Mobiltelefon und Samenparametern blieben über die drei Studienjahre hinweg bestehen, und der negative Zusammenhang war in einem gemischten Modell, das alle drei Jahre der Daten über das Telefonieren mit dem Mobiltelefon und die Samenqualität berücksichtigte, statistisch signifikant. Unsere Ergebnisse zeigen, dass bestimmte Aspekte der Nutzung von Mobiltelefonen die Spermienqualität bei Männern negativ beeinflussen können, indem sie das Spermavolumen, die Spermienkonzentration oder die Spermienzahl verringern und damit die männliche Fertilität beeinträchtigen.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Störfaktoren nicht analysiert. Zusammenhang mit Beeinträchtigung der männlichen Fertilität.**

#### 12. Lewis et al., 2017.

USA. 2004–2015. Längsschnitt-Kohortenstudie, Teil der EARTH-Studie.

Es handelt sich um eine Längsschnitt-Kohortenstudie, für die Paare rekrutiert wurden, die sich im Fertilitätszentrum des Massachusetts General Hospital (MGH) einer Fertilitätsbehandlung unterzogen. Schwierigkeiten beim Zeugen von Kindern können auf einen männlichen Faktor, einen weiblichen Faktor oder eine Kombination aus männlichen und weiblichen Faktoren zurückzuführen sein. In einer Längsschnitt-Kohortenstudie mit 153 Männern, die eine akademische Fertilitätsklinik in Boston im US-Bundesstaat Massachusetts besuchten, wurde der Zusammenhang zwischen Mobiltelefon-Nutzungsmustern und Markern der Samenqualität untersucht. Teilnehmen konnten Männer im Alter zwischen 18 und 56 Jahren. Informationen über die Dauer der Mobiltelefonnutzung (keine Nutzung,  $< 2$  Stunden/Tag, 2–4 Stunden/Tag,  $> 4$  Stunden/Tag), die Verwendung von Headsets oder Ohrhörern (nie, gelegentlich, manchmal, meistens, immer) und der Stelle, an dem das Mobiltelefon getragen wurde (Hosentasche, Gürtel, Tasche, Sonstige), wurden mittels eines mit dem/der Studienhelfer/in ausgefüllten Fragebogens ermittelt. Spermaproben ( $n = 350$ ) wurden vor Ort abgegeben und analysiert. Um pro Mann mehrere Spermaproben zu berücksichtigen, wurden lineare gemischte Modelle mit zufälligen Abschnitten verwendet, um den Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Samenparametern zu

untersuchen. Insgesamt gab es keine Evidenz für einen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und der Samenqualität.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Keine Evidenz für einen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und der Samenqualität.**

## ENTWICKLUNGSSTUDIEN

### Fall-Kontroll-Studien (Tabelle 15, a–f)

#### 13. Tan et al., 2014.

Singapur. Fall-Kontroll-Studie.

Eine drohende Fehlgeburt tritt bei 20 % der Schwangerschaften auf. Wir führten eine Fall-Kontroll-Studie durch, um den Zusammenhang zwischen Faktoren der Lebensweise der Mutter und dem Risiko einer drohenden Fehlgeburt zu untersuchen. Bei den Fällen handelte es sich um 154 Frauen, die mit einer drohenden Fehlgeburt in der 5. bis 10. Schwangerschaftswoche vorstellig wurden; bei den Kontrollen handelte es sich um 264 Frauen ohne drohende Fehlgeburt, die in der 5. bis 10. Schwangerschaftswoche die Klinik für werdende Mütter aufsuchten. Variablen der Lebensweise waren: aktuelles und früheres Zigarettenrauchen, derzeitige Exposition gegenüber Passivrauch, Nutzung von Computern und Mobiltelefonen, wahrgenommener Stress, frühere Verwendung von Verhütungsmitteln, frühere Regelmäßigkeit der Menstruation und Konsum von Fischöl, Koffein und Alkohol. Es wurde eine logistische Regression vorgenommen. In der multivariaten Analyse wurde ein positiver Zusammenhang zwischen drohender Fehlgeburt und Exposition gegenüber Passivrauch (OR 2,93, 95%-KI 1,32–6,48), Nutzung von Computern (> 4 Stunden/Tag) (OR 6,03, 95%-KI 2,82–12,88), Nutzung von Mobiltelefonen (> 1 Stunde/Tag) (OR 2,94, 95%-KI 1,32–6,53) und Koffeinkonsum (OR 2,95, 95%-KI 1,57–5,57) festgestellt. Jeder Fischölkonsum war mit einem geringeren Risiko einer drohenden Fehlgeburt verbunden (OR 0,20, 95%-KI 0,09–0,42). Die längere Nutzung von Mobiltelefonen und Computern sowie die Einnahme von Fischöl sind mögliche neue Korrelate einer drohenden Fehlgeburt, die eingehender untersucht werden sollten.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Stress als Störvariable wurde nicht berücksichtigt. Ein Zusammenhang zwischen Nutzung von Mobiltelefonen und Computern und drohender Fehlgeburt wurde beobachtet.**

#### 14. Mahmoudabadi et al., 2015.

Iran. Fall-Kontroll-Studie.

Die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen nimmt zu, aber der mögliche Einfluss auf etwaige Spontanaborte ist bisher nicht gründlich untersucht worden. Methoden: In eine Fall-Kontroll-Studie wurden 292 Frauen, die einen ungeklärten Spontanabort in einer Schwangerschaft von weniger als 14 Wochen hatten, und 308 schwangere Frauen, die sich mindestens in der 14. Schwangerschaftswoche befanden, aufgenommen. Es wurden zwei Formulare zur Datenerhebung ausgefüllt; mit einem wurden Daten zu sozioökonomischen und geburtshilflichen Merkmalen, zur medizinischen und die Fortpflanzung betreffenden Vorgeschichte und zur Lebensweise erhoben. Mit einem weiteren wurden Daten zur Nutzung von Mobiltelefonen während der Schwangerschaft erhoben. Zur Betrachtung der Auswirkungen von Mobiltelefonen haben wir die durchschnittliche Anrufdauer pro Tag, den Aufbewahrungsort der Mobiltelefone bei Nichtgebrauch, die Verwendung von Freisprecheinrichtungen, die Nutzung von Telefonen für andere Anwendungen, die vom Hersteller angegebene spezifische Absorptionsrate (SAR) und den Durchschnitt der effektiven SAR (durchschnittliche Anrufdauer pro Tag  $\times$  SAR) gemessen. Die Analysen wurden mit der Statistical Package State Software (SPSS) v.16 durchgeführt. Der Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und dem Risiko

von Spontanaborten vor dem Hintergrund potenzieller Störfaktoren wurde durch den Nachweis gestützt, dass trotz Bereinigung um viele bekannte oder vermutete Risikofaktoren in logistischen Regressionsanalysen die Schätzung nicht signifikant verändert wurde. Alle Daten in Bezug auf Mobiltelefone unterschieden sich zwischen den beiden Gruppen mit Ausnahme der Nutzung von Freisprecheinrichtungen ( $p < 0,001$ ). Das von uns ermittelte Ergebnis deutet darauf hin, dass möglicherweise ein Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und den frühen Spontanaborten besteht.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Möglicherweise besteht ein Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und den frühen Spontanaborten.**

### Querschnittstudien (Tabellen 16, a,b)

#### 15. Col-Araz, 2013.

Türkei. 2009. Querschnittstudie.

Die Studie wurde in der Türkei in der Ambulanz der Pädiatrischen Abteilung der Medizinischen Fakultät an der Gaziantep-Universität durchgeführt. Sie umfasste 500 Patientinnen, die zwischen Mai und Dezember 2009 in der Klinik vorstellig wurden. Alle Teilnehmerinnen füllten einen Fragebogen zum Verlauf ihrer Schwangerschaft aus. Für die statistische Analyse wurde SPSS 13 verwendet. In der Studie hatten 90 (19%) Patientinnen eine Frühgeburt, und 64 (12,9%) brachten Kinder mit niedrigem Geburtsgewicht zur Welt. Das Geburtsgewicht war positiv mit dem Alter der Mutter und dem Ausgangsgewicht der Mutter korreliert ( $r = 0,115$ ,  $p = 0,010$  bzw.  $r = 0,168$ ,  $p = 0,000$ ). Frühgeburten und ein Geburtsgewicht von weniger als 2500 g waren bei Müttern mit einer Erkrankung während der Schwangerschaft häufiger ( $p = 0,046$  bzw.  $p = 0,008$ ). Es wurde kein Zusammenhang zwischen der Gewohnheit der Mütter, fernzusehen und Mobiltelefone und Computer zu nutzen, und dem Geburtsgewicht festgestellt. Mütter, die während der Schwangerschaft Mobiltelefone oder Computer nutzten, hatten mehr Entbindungen vor der 37. Woche ( $p = 0,018$  bzw.  $p = 0,034$ ). Gleichmaßen war die Schwangerschaftsdauer bei Müttern, die während der Schwangerschaft entweder ein Mobiltelefon oder einen Computer benutzten, kürzer ( $p = 0,005$  bzw.  $p = 0,048$ ). Mobiltelefone und Computer könnten einen Einfluss auf Frühgeburten haben.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Mobiltelefone und Computer könnten einen Einfluss auf Frühgeburten haben.**

#### 16. Zarei S. et al., 2015.

Iran. 2014. Querschnittstudie.

Das Ziel dieser Studie war es, zu untersuchen, ob die Exposition der Mutter gegenüber verschiedenen Quellen elektromagnetischer Felder die Häufigkeit und den Schweregrad von Sprachproblemen bei ihren Nachkommen beeinflusst. In dieser Studie wurden die Mütter von 35 gesunden Kindern im Alter von 3 bis 5 Jahren (Kontrollgruppe) und 77 Kindern mit diagnostizierten Sprachproblemen, die an ein Sprachbehandlungszentrum in Shiraz, Iran, überwiesen worden waren, befragt. Die Mütter wurden gefragt, ob sie verschiedenen Quellen elektromagnetischer Felder wie Mobiltelefonen, Mobilfunkbasisstationen, WLAN, schnurlosen Telefonen, Laptops und Stromleitungen ausgesetzt waren. Es wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anrufdauer ( $p = 0,002$ ) oder der Nutzungsdauer des Mobiltelefons (Nutzungsmonate) und den Sprachproblemen bei den Nachkommen ( $p = 0,003$ ) festgestellt. Andere Expositionen hatten jedoch keinen Einfluss bezüglich des Auftretens von Sprachproblemen. Nach unserem Kenntnisstand ist dies die erste Studie, die einen möglichen Zusammenhang zwischen der Exposition der Mutter gegenüber elektromagnetischen Feldern und Sprachproblemen bei den Nachkommen untersucht. Wenngleich eine wesentliche Einschränkung unserer Studie der relativ kleine Stichprobenumfang ist, deutet diese Studie darauf hin, dass die Exposition der Mutter gegenüber gängigen elektromagnetischen Feldern, wie z. B. Mobiltelefonen, das Auftreten von Sprachproblemen bei den Nachkommen beeinflussen kann.

**Anmerkung: Kleiner Stichprobenumfang, Einschränkung der Expositionsbewertung. Zusammenhang zwischen Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mutter und Sprachproblemen bei den Nachkommen.**

17. Abad et al., 2016.

Iran. Querschnittstudie.

Untersuchung der Zusammenhänge zwischen der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern und Fehlgeburten bei Frauen in Teheran. An dieser Längsschnittstudie nahmen 462 schwangere Frauen mit einem Schwangerschaftsalter von < 12 Wochen aus sieben Hauptregionen der Stadt Teheran im Iran mit ähnlichem sozialen und kulturellen Status teil. Das Durchschnittsalter der Frauen betrug  $28,22 \pm 4,53$  Jahre. Insgesamt gab es 56 Fälle von Spontanaborten. Die Inzidenz von Aborten betrug 12,3 %. Zur Erhebung der Daten wurden die Frauen persönlich befragt. Die Informationen zur Fortpflanzung wurden anhand der Krankenakten der Krankenhäuser erhoben, in denen die Patientinnen entbunden hatten. Das Messgerät von Narda Safety Test Solutions mit gültigem Kalibrierungsdatum maß die elektromagnetischen Wellen an der Eingangstür ihrer Häuser. Dabei wurde eine signifikante Wahrscheinlichkeit von Fehlgeburten bei Frauen festgestellt, die einer hohen Belastung durch elektromagnetische Wellen ausgesetzt waren. Dieser Zusammenhang wurde jedoch mittels Wald-Test nicht bestätigt. Diese Studie liefert keine eindeutige oder konsistente Evidenz dafür, dass die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern mit Fehlgeburten zusammenhängt ist oder diese verursacht. Dieses Problem könnte auf den geringen Stichprobenumfang in dieser Studie zurückzuführen sein.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Kleiner Stichprobenumfang. Unsicherer Zusammenhang zwischen Fehlgeburten und der Nutzung von Mobiltelefonen.**

18. Lu et al., 2017.

Japan. 2012–2014. Querschnittstudie basierend auf Kohortendaten.

Ziel der Studie war es, den Zusammenhang zwischen exzessiver Nutzung von Mobiltelefonen und dem Geburtsgewicht sowie dem Gesundheitszustand des Kindes zu ermitteln. Eine Stichprobe von 461 Mutter-Kind-Paaren nahm an einer Umfrage zu Eigenschaften von Mutter und Kind sowie Informationen über die Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mutter während der Schwangerschaft teil. Die Ergebnisse zeigten, dass schwangere Frauen in Japan dazu neigen, Mobiltelefone exzessiv zu nutzen. Das durchschnittliche Geburtsgewicht der Säuglinge war in der Gruppe mit exzessiver Nutzung niedriger als in der Gruppe mit normaler Nutzung, und die Häufigkeit von Notfalltransporten von Säuglingen war in der Gruppe mit exzessiver Nutzung deutlich höher als in der Gruppe mit normaler Nutzung. Die exzessive Nutzung von Mobiltelefonen während der Schwangerschaft kann ein Risikofaktor für ein niedrigeres Geburtsgewicht und eine hohe Rate von Notfalltransporten von Säuglingen sein.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Begrenzter Stichprobenumfang. Begrenzte Bewertung der Exposition der Mütter. Unschlüssig.**

#### Kohortenstudien (Tabellen 17, a–f)

19. Mjøen et al., 2006.

Norwegen. 1976–1995. Kohortenstudie über negative Schwangerschaftsausgänge, Exposition am Arbeitsplatz.

Ziel war es, anhand von populationsbasierten Daten aus Norwegen den Zusammenhang zwischen Exposition am Arbeitsplatz des Vaters gegenüber HF-EMF und negativen Schwangerschaftsausgängen, einschließlich Geburtsfehler, zu bewerten. Aus dem medizinischen Geburtenregister von Norwegen stammende Daten über die Schwangerschaftsausgänge wurden mit Daten über den Beruf des Vaters verknüpft, die aus den allgemeinen Volkszählungen stammen. Maritime Berufe, Telefonreparatur- und -installationsarbeiter und Schweißer wurden als drei separate Gruppen ausgewählt. Ein Expertengremium kategorisierte die Berufe gemäß ihrer Exposition. Es wurden drei Höhen für die Exposition am Arbeitsplatz

bewertet, die die Wahrscheinlichkeit der Exposition gegenüber HFS widerspiegeln; eine Gruppe war „wahrscheinlich nicht exponiert“ (376 837 Geburten), eine Gruppe „möglicherweise exponiert“ (139 871 Geburten) und eine Gruppe „wahrscheinlich exponiert“ (24 885 Geburten). 24 Kategorien von Geburtsfehlern sowie andere unerwünschte Ergebnisse wurden mittels logistischer Regression analysiert. Bei den Nachkommen der Väter, die mit der höchsten Wahrscheinlichkeit exponiert waren, wurde ein erhöhtes Risiko für eine Frühgeburt beobachtet (OR: 1,08, 95%-Konfidenzintervall (KI): 1,03, 1,15). In dieser Gruppe beobachteten wir darüber hinaus ein vermindertes Lippenspalten-Risiko (OR: 0,63, 95%-KI: 0,41, 0,97). In der Gruppe mit mittlerer Exposition beobachteten wir ein erhöhtes Risiko für eine Kategorie von „anderen Geburtsfehlern“ (OR: 2,40, 95%-KI: 1,22, 4,70), und ein vermindertes Risiko für die Kategorie „andere Syndrome“ (OR: 0,75, 95%-KI: 0,56, 0,99) und Defekte des oberen Gastrointestinaltrakts (OR: 0,61, 95%-KI: 0,40, 0,93). Diese Studie ist für Väter mit beruflicher Exposition zum Teil ermutigend.

**Anmerkung: Expositionshöhe unsicher. Keine Evidenz für einen Zusammenhang zwischen Exposition am Arbeitsplatz gegenüber HF-EMF und negativen Schwangerschaftsausgängen.**

20. Divan et al., 2008; Divan et al., 2011.

Dänemark. Kinder, die zwischen 1997 und 1999 geboren wurden, anschließend aktualisiert bis 2002. Kohortenstudie.

Es wurde der Zusammenhang zwischen pränataler und postnataler Exposition gegenüber Mobiltelefonen und Verhaltensproblemen bei Kleinkindern untersucht. Die Mütter wurden zu Beginn der Schwangerschaft in die Danish National Birth Cohort (Nationale Geburtenkohorte in Dänemark) aufgenommen. Als die Kinder dieser Schwangerschaften in den Jahren 2005 und 2006 das 7. Lebensjahr erreichten, wurden die Mütter gebeten, einen Fragebogen über den aktuellen Gesundheits- und Verhaltenszustand der Kinder sowie über die frühere Exposition gegenüber der Nutzung von Mobiltelefonen auszufüllen. Die Mütter beurteilten die Verhaltensprobleme des Kindes mithilfe des Fragebogens zu Stärken und Schwierigkeiten (Strength and Difficulties Questionnaire). Die Mütter von 13 159 Kindern füllten den Folgefragebogen aus und berichteten über die Nutzung von Mobiltelefonen während der Schwangerschaft sowie über die aktuelle Nutzung von Mobiltelefonen durch das Kind. Bei Kindern, die möglicherweise vor oder nach der Geburt der Nutzung von Mobiltelefonen ausgesetzt waren, wurden höhere Odds-Ratios für Verhaltensauffälligkeiten beobachtet. Nach Bereinigung um potenzielle Störfaktoren betrug die Odds-Ratio für einen höheren Gesamtwertpunkt (Score) für Verhaltensprobleme 1,80 (95%-Konfidenzintervall 1,45–2,23) bei Kindern mit Exposition gegenüber Mobiltelefonen vor und nach der Geburt. Die Exposition gegenüber Mobiltelefonen vor der Geburt – und in geringerem Maße auch nach der Geburt – wurde mit Verhaltensschwierigkeiten wie emotionalen und Hyperaktivitätsproblemen im Alter der Einschulung assoziiert.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition und andere mögliche Störfaktoren. Die Exposition gegenüber Mobiltelefonen vor der Geburt – und in geringerem Maße auch nach der Geburt – wurde mit Verhaltensschwierigkeiten wie emotionalen und Hyperaktivitätsproblemen im Alter der Einschulung assoziiert.**

Dänemark. Kinder, die zwischen 1996 und 2002 geboren wurden. Kohortenstudie.

Ziel der zweiten Studie war es, zu untersuchen, ob die pränatale Nutzung von Mobiltelefonen durch schwangere Mütter mit der Verzögerung von Entwicklungsmeilensteinen bei Kindern im Alter von bis zu 18 Monaten assoziiert ist.

Methoden: Unsere Arbeit basiert auf der Danish National Birth Cohort (DNBC), die von 1996 bis 2002 schwangere Mütter rekrutierte und gestartet wurde, um eine Vielzahl detaillierter Informationen über die In-utero-Exposition und verschiedene gesundheitliche Ergebnisse zu erheben. Ende 2008 wurden mehr als 41 000 Lebendgeburten von Einlingen mit dem Age-7-Fragebogen verfolgt, der die Nutzung von



Mobiltelefonen durch die Mütter während der Schwangerschaft erfasst. Die Ergebnisse zu den Entwicklungsmeilensteinen wurden anhand von Telefonbefragungen ermittelt, die mit den Müttern 6 bis 18 Monate nach der Entbindung durchgeführt wurden. Ergebnisse: Mittels eines logistischen Regressionsmodells wurden die Odds-Ratios (OR) für Entwicklungsverzögerungen geschätzt, bereinigt um mögliche Störfaktoren. Weniger als 5 % der Kinder hatten im Alter von 6 und 18 Monaten Verzögerungen von kognitiven/sprachlichen oder motorischen Entwicklungsmeilensteinen. Nach 6 Monaten betrug die bereinigte OR 0,8 [95%-Konfidenzintervall (95%-KI) 0,7–1,0] für die kognitive/sprachliche und 0,9 (95%-KI 0,8–1,1) für die motorische Entwicklungsverzögerung. Mit 18 Monaten betrug die bereinigte OR 1,1 (95%-KI 0,9–1,3) bzw. 0,9 (95%-KI 0,8–1,0) für kognitive/sprachliche bzw. motorische Entwicklungsverzögerungen. Schlussfolgerungen: Es wurde keine Evidenz für einen Zusammenhang zwischen pränataler Nutzung von Mobiltelefonen und motorischen oder kognitiven/sprachlichen Entwicklungsverzögerungen bei Säuglingen im Alter von 6 und 18 Monaten beobachtet. Selbst bei der Betrachtung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen für die Nutzung von Mobiltelefonen bestand kein Zusammenhang.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Keine Evidenz für einen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen vor der Geburt und motorischen oder kognitiven/sprachlichen Entwicklungsverzögerungen.**

#### 21. Guxens et al., 2013.

Niederlande. 2003–2004 Aufnahme; 2008–2009 Beurteilung der Verhaltensprobleme; 2010–2011 retrospektive Expositionsbeurteilung.

Die Studie war in eine populationsbasierte prospektive Geburtskohortenstudie integriert. Zusammen mit Mobiltelefonen stellen schnurlose Telefone die Hauptexpositionsquelle hochfrequenter elektromagnetischer Felder für den Kopf dar. Daher untersuchten wir den Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen durch die Mütter während der Schwangerschaft und den von Lehrern und Müttern gemeldeten Verhaltensproblemen der Kinder im Alter von 5 Jahren. Die Studie war in die Studie „Amsterdam Born Children and their Development Study“ integriert, eine populationsbasierte Geburtskohortenstudie in Amsterdam, Niederlande (2003–2004). Lehrer und Mütter berichteten über Verhaltensprobleme der Kinder mithilfe des Fragebogens zu Stärken und Schwierigkeiten (Strength and Difficulties Questionnaire) im Alter von 5 Jahren. Die Nutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen durch die Mütter während der Schwangerschaft wurde erfragt, als die Kinder 7 Jahre alt waren. Insgesamt wurden 2 618 Kinder aufgenommen. Im Vergleich zu Nicht-Nutzern zeigten diejenigen, die einer Nutzung von Mobiltelefonen vor der Geburt ausgesetzt waren, einen erhöhten, aber nicht signifikanten Zusammenhang mit der Meldung von allgemeinen Verhaltensproblemen durch den Lehrer, allerdings ohne Dosis-Wirkungs-Beziehung mit der Anzahl der Anrufe (OR = 2,12 (95%-KI 0,95 bis 4,74) für < 1 Anruf/Tag, OR = 1,58 (95%-KI 0,69 bis 3,60) für 1–4 Anrufe/Tag und OR = 2,04 (95%-KI 0,86 bis 4,80) für  $\geq 5$  Anrufe/Tag). Die ORs für die Meldung von Verhaltensproblemen durch den Lehrer in den verschiedenen Kategorien der Nutzung von schnurlosen Telefonen lagen unter 1 oder nahe bei eins. Die Zusammenhänge zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und Schnurlostelefonen durch die Mütter und den von den Müttern berichteten Verhaltensproblemen waren nicht signifikant. Für die Subskalen der spezifischen Verhaltensprobleme wurden nicht signifikante Zusammenhänge ermittelt. Unsere Ergebnisse weisen nicht darauf hin, dass die Nutzung von Mobiltelefonen oder Schnurlostelefonen durch Mütter während der Schwangerschaft die Wahrscheinlichkeit von Verhaltensstörungen bei ihren Kindern erhöht.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition und andere mögliche Störfaktoren. Die Nutzung von Mobiltelefonen während der Schwangerschaft erhöht spezifische Verhaltensprobleme; dieses Ergebnis ist nicht signifikant.**

## 22. Choi et al., 2017.

Südkorea. 2006–2016. Multizentrische prospektive Kohortenstudie (Studie Mothers and Children's Environmental Health (MOCEH)).

Studien, die die Exposition gegenüber der Nutzung von Mobiltelefonen vor der Geburt und ihre Auswirkungen auf die Neuroentwicklung des Kindes untersuchen, zeigen je nach Entwicklungsstadium des Kindes unterschiedliche Ergebnisse. Um die Neuroentwicklung von Kindern im Alter von bis zu 36 Monaten nach Exposition gegenüber Mobiltelefonnutzung und Hochfrequenzstrahlung (HF-EMF) vor der Geburt im Zusammenhang mit Bleiexposition vor der Geburt zu untersuchen, analysierten wir 1 198 Mutter-Kind-Paare aus einer prospektiven Kohortenstudie (der Mothers and Children's Environmental Health Study). Schwangeren Frauen, die sich in der  $\leq 20$ . Schwangerschaftswoche befanden, wurden Fragebögen vorgelegt, um die Häufigkeit und Dauer von Anrufen mit dem Mobiltelefon zu ermitteln. Ein persönliches Expositionsmessgerät (PEM) wurde verwendet, um die HF-EMF-Exposition von 210 schwangeren Frauen über einen Zeitraum von 24 Stunden zu messen. Der Blutbleispiegel (BLL) der Mutter wurde während der Schwangerschaft gemessen. Die Neuroentwicklung des Kindes wurde anhand der koreanischen Version der Bayley Scales of Infant Development – Revised im Alter von 6, 12, 24 und 36 Monaten bewertet. Es wurde eine logistische Regressionsanalyse, auf Gruppen angewendet, die durch eine Verlaufsanalyse klassifiziert wurden, welche eine neurologische Entwicklungsmuster im Zeitverlauf zeigt. Der Index der psychomotorischen Entwicklung (PDI) und der Index der geistigen Entwicklung (MDI) im Alter von 6, 12, 24 und 36 Monaten standen in keinem signifikanten Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mutter während der Schwangerschaft. Bei Kindern, die in utero einem hohen mütterlichen BLL ausgesetzt waren, bestand jedoch ein signifikant erhöhtes Risiko, bis zum Alter von 36 Monaten einen niedrigen PDI zu haben, wenn die durchschnittliche Anrufdauer zunahm ( $p$ -Trend = 0,008). Außerdem bestand das Risiko, dass der MDI bis zum Alter von 36 Monaten abnahm, wenn die durchschnittliche Anrufdauer oder -häufigkeit während der Schwangerschaft zunahm ( $p$ -Trend = 0,05 bzw. 0,007 für Dauer und Häufigkeit). Es gab keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Neuroentwicklung des Kindes und der HF-EMF-Exposition vor der Geburt, die mittels PEM gemessen wurde, weder bei allen Patienten noch in den Gruppen, die nach dem mütterlichen BLL während der Schwangerschaft stratifiziert waren. Es wurde kein Zusammenhang zwischen Exposition gegenüber HF-EMF vor der Geburt und der Neuroentwicklung von Kindern in den ersten drei Lebensjahren festgestellt; Es wurde jedoch ein möglicher kombinierter Effekt von Exposition gegenüber Blei und der Nutzung von Mobiltelefonen vor der Geburt vermutet.

**Anmerkung: Blutbleispiegel der Mutter als wichtigster Störfaktor. Es wird ein möglicher kombinierter Effekt vermutet.**

## 23. Papadopoulou et al., 2017.

Norwegen. 1999–2008. prospektive populationsbasierte Schwangerschafts-Kohortenstudie MoBA, norwegisches Institut für Volksgesundheit.

Untersucht wurde der Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mutter in der Schwangerschaft und den sprachlichen, kommunikativen und motorischen Fähigkeiten des Kindes im Alter von 3 und 5 Jahren. Diese prospektive Studie umfasst 45 389 Mutter-Kind-Paare, Teilnehmer der Studie MoBa, die zwischen 1999 und 2008 in der Mitte der Schwangerschaft rekrutiert wurden. Die Häufigkeit der Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mutter in der frühen Schwangerschaft und die sprachlichen, kommunikativen und motorischen Fähigkeiten des Kindes im Alter von 3 und 5 Jahren wurden anhand von Fragebögen untersucht. Zur Schätzung der Zusammenhänge wurde eine logistische Regression angewendet. Ergebnisse: 9,8 % der Frauen gaben an, in der frühen Schwangerschaft keine Mobiltelefone genutzt zu haben, während 39 %, 46,9 % und 4,3 % der Frauen in die Kategorien geringe, mittlere und intensive Nutzung von Mobiltelefonen eingeteilt wurden. Kinder von Müttern, die Mobiltelefone nutzen, hatten ein um 17 % (OR = 0,83, 95%-KI: 0,77, 0,89) niedrigeres bereinigtes Risiko für geringe Satzkomplexität im Alter von 3 Jahren im Vergleich zu Kindern von Nicht-Nutzerinnen. Bei geringer, mittlerer und intensiver Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mutter war das Risiko um 13 %, 17 % und 21 % höher, dass das Kind im Alter von 3 Jahren eine geringere sprachliche Komplexität hatte.



22 % bzw. 29 % geringer. Darüber hinaus hatten Kinder von Nutzerinnen von Mobiltelefonen im Alter von 3 Jahren ein geringeres Risiko für niedrige motorische Fähigkeiten als Kinder von Nicht-Nutzerinnen, wohingegen dieser Zusammenhang im Alter von 5 Jahren nicht festgestellt wurde. Wir fanden keinen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mutter und geringen Kommunikationsfähigkeiten. Wir berichteten über ein geringeres Risiko für geringe sprachliche und motorische Fähigkeiten im Alter von drei Jahren im Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen vor der Geburt, was durch eine verbesserte Interaktion zwischen Mutter und Kind bei Nutzerinnen von Mobiltelefonen erklärt werden könnte. Es wurde keine Evidenz für schädliche Auswirkungen der Nutzung von Mobiltelefonen vor der Geburt auf die neurologische Entwicklung gefunden.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Es wurde keine Evidenz für schädliche Auswirkungen der Nutzung von Mobiltelefonen vor der Geburt auf die neurologische Entwicklung gefunden.**

#### 24. Sudan et al., 2018.

Dänemark DNBC, Spanien INMA und Korea MOCEH.

Untersucht wird der Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mutter während der Schwangerschaft und der kognitiven Leistung von Kindern im Alter von 5 Jahren. Diese Studie umfasste Daten aus 3 Geburtskohorten: die Danish National Birth Cohort (DNBC) (n = 1209), das spanische Projekt für Umwelt und Kinder (INMA) (n = 1 383) und die koreanische Mothers and Children's Environmental Health Study (MOCEH) (n = 497). In allen Kohorten wurden Informationen über die Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mütter während der Schwangerschaft und die kognitiven Leistungen der Kinder im Alter von 5 Jahren gesammelt. Es wurde eine lineare Regression zur Berechnung der mittleren Differenzen (MD) und der 95%-Konfidenzintervalle (KI) bei den allgemeinen, verbalen und nonverbalen kognitiven Punktwerten der Kinder durchgeführt, wobei die Häufigkeit der Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mütter vor der Geburt verglichen und zahlreiche potenzielle Störfaktoren berücksichtigt wurden. Die Modelle wurden für jede Kohorte getrennt berechnet und in der Metaanalyse wurden die Daten zusammengefasst. Es wurde kein Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Nutzung von Mobiltelefonen vor der Geburt und den kognitiven Leistungen der Kinder festgestellt. In der Kategorie mit der höchsten Nutzungshäufigkeit waren die Punktwerte tendenziell niedriger; Die MD (95%-KI) der allgemeinen Kognitionspunktwerte betrug 0,78 (-0,76, 2,33) für keine, 0,11 (-0,81, 1,03) für mittlere und -0,41 (-1,54, 0,73) für intensive Nutzung im Vergleich zu geringer Nutzung. Dieses Muster war in allen kognitiven Dimensionen zu beobachten, jedoch waren die Ergebnisse insgesamt ungenau. Es wurden Muster niedrigerer durchschnittlicher kognitiver Werte bei Kindern in Verbindung mit einer hohen Häufigkeit der Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mütter vor der Geburt beobachtet. Die kausale Natur und der Mechanismus dieser Beziehung sind weiterhin unbekannt.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Es wurden Muster niedrigerer durchschnittlicher kognitiver Werte bei Kindern in Verbindung mit einer hohen Häufigkeit der Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mütter vor der Geburt beobachtet.**

#### 25. Tsarna et al., 2019.

Dänemark, Niederlande, Spanien, Südkorea. 1996–2011. Vier populationsbasierte Geburtskohortenstudien, die am GERoNiMO-Projekt teilnehmen, und zwar die Danish National Birth Cohort (DNBC), die Amsterdam Born Children and Their Development Study (ABCD), das spanische Projekt für Umwelt und Kinder (INMA) und die Korean Mothers and Children's Environment Health Study (MOCEH).

Ergebnisse aus Studien, die mögliche Auswirkungen der Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen vor der Geburt auf den Ausgang der Geburt untersuchten, waren uneinheitlich. Anhand von Daten von 55 507 schwangeren Frauen und ihren Kindern aus Dänemark (1996–2002), den Niederlanden (2003–2004), Spanien (2003–2008) und Südkorea (2006–

2011) haben wir untersucht, ob die Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mutter mit der Dauer der Schwangerschaft und dem Wachstum des Fötus zusammenhängt. Auf der Grundlage der von den Befragten selbst berichteten Anzahl von Mobiltelefonanrufen pro Tag wurde die Exposition in keine, geringe (Referenz), mittlere oder hohe Exposition eingeteilt. Untersucht wurden die Schwangerschaftsdauer (Schwangerschaftsalter bei der Geburt, Früh-/Spätgeburt), das fetale Wachstum (Geburtsgewichtsverhältnis, klein/groß für das Schwangerschaftsalter) und die Geburtsgewichtsvariablen (Geburtsgewicht, niedriges/hohes Geburtsgewicht) sowie metaanalytische kohortenspezifische Schätzungen. Die Gruppe mit mittlerer Exposition hatte ein höheres Risiko, in einem niedrigeren Schwangerschaftsalter zu gebären (Hazard-Ratio = 1,04, 95%-Konfidenzintervall: 1,01, 1,07), und für kürzere Schwangerschaftsdauer ( $p < 0,001$ ) und Frühgeburt ( $p = 0,003$ ) wurden Dosis-Wirkungs-Beziehungen festgestellt. Wir stellten keinen Zusammenhang mit dem fetalen Wachstum oder dem Geburtsgewicht fest. Die Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mutter während der Schwangerschaft steht möglicherweise mit einer kürzeren Schwangerschaftsdauer und einem erhöhten Frühgeburtsrisiko im Zusammenhang, aber diese Ergebnisse sollten mit Vorsicht interpretiert werden, da sie möglicherweise eher auf Stressbelastung während der Schwangerschaft oder andere verbleibende Störfaktoren zurückzuführen sind als auf eine direkte Auswirkung der Exposition gegenüber Mobiltelefonen.

**Anmerkung: Stressbelastung als Störfaktor. Unsicherer Zusammenhang.**

#### 26. Boileau et al, 2020.

Frankreich. 2014–2017. Prospektive, multizentrische beobachtende Längsschnitt-Kohortenstudie

Ziel dieser Studie war es, den Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen durch schwangere Frauen und der fetalen Entwicklung während der Schwangerschaft in der Allgemeinbevölkerung zu untersuchen. Die Daten stammen aus der NéHaVi-Kohorte („prospektive Nachbeobachtung, von der intrauterinen Entwicklung bis zum Alter von 18 Jahren, für Kinder, die in Haute-Vienne geboren wurden“), einer prospektiven, longitudinalen, multizentrischen (drei Entbindungsstationen in Haute-Vienne) Beobachtungskohorte, die sich auf Kinder konzentrierte, die zwischen April 2014 und April 2017 geboren wurden. Das Hauptziel war es, den Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und dem fetalen Wachstum zu untersuchen. Es wurden univariate und multivariate Modelle generiert, die um die Variablen der sozioprofessionellen Kategorie der Mutter und andere Variablen, die möglicherweise das fetale Wachstum beeinflussen, bereinigt wurden. Für die Analyse wurden 1 378 Krankenakten berücksichtigt, basierend auf denen 1 368 Mütter (99,3 %) ihr Mobiltelefon während der Schwangerschaft nutzten. Die mittlere Anrufdauer betrug 29,8 Minuten (Bereich: 0,0–240,0 Minuten) pro Tag. Nach Bereinigung hatten Neugeborene, deren Mütter ihr Mobiltelefon mehr als 30 Minuten/Tag nutzten, eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit, einen AUDIPOG-Score  $\leq 10$ . Perzentil zu haben, als solche, deren Mütter ihr Mobiltelefon während der Schwangerschaft weniger als 5 Minuten/Tag nutzten (aOR = 1,54 [1,03; 2,31],  $p = 0,0374$ ). Bei Frauen, die ihr Mobiltelefon 5–15 Minuten lang bzw. 15–30 Minuten lang nutzten, gab es keinen signifikanten Zusammenhang mit einem AUDIPOG-Score  $\leq 10$ . Perzentil, aOR = 0,98 [0,58; 1,65] bzw. aOR = 1,68 [0,99; 2,82]. Die Nutzung von Mobiltelefonen für Anrufe von mehr als 30 Minuten pro Tag während der Schwangerschaft wirkt sich möglicherweise negativ auf das Wachstum des Fötus aus. Es sollte eine prospektive Studie durchgeführt werden, um diese potenzielle Verbindung weiter zu untersuchen.

**Anmerkung: Es wurde ein eingeschränktes fetales Wachstum beobachtet, wenn Mütter pro Tag länger als 30 Minuten Mobiltelefone nutzten.**

Tabelle 12 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: männliche Fertilität, epidemiologische Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (a)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)				Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen
1. Al-Quzwini et al., 2016. Irak, 2014–2015. Fall-Kontroll-Studie.	100 zufällig ausgewählte subfertile Paare, die die Fertilitätsklinik des Babylon Teaching Hospital (Babylon-Lehrkrankenhaus) für Geburtshilfe und Pädiatrie in der Stadt Al-Hilla im Irak besuchten; 100 freiwillige fertile Paare aus dem Personal oder von Verwandten aus demselben Krankenhaus als Kontrollgruppe.	Die Exposition gegenüber elektromagnetischer Strahlung in der Umwelt durch Mobilfunktürme und der Berufsstand wurden anhand eines Standardfragebogens ermittelt.	Wohnen in der Nähe einer Mobilfunkbasisstation (< 50 m) und mit einer Leistungsintensität von 71 226 mW/m <sup>2</sup> , Dauer der Exposition gegenüber der elektromagnetischen Strahlung. Exposition am Arbeitsplatz gegenüber Gefahren am Arbeitsplatz (z. B. „Fahrer“: langes Sitzen, „Arbeiter“: Lackierer und Bauarbeiter und „Angehörige des Militärs“)	Analyse der Samenflüssigkeit der subfertilen Männer. Odds-Ratios und 95%-KI, sowie Chi-Quadrat-Test für Unterschiede.					Rauchen	Unzureichend  Nur bei den subfertilen Männern wurde eine Spermaanalyse durchgeführt, da die fertilen Männer (Kontrollgruppe) die Abgabe von Spermaproben verweigerten.
					<b>Oligozoospermie bei subfertilen Männern, OR (95%-KI)</b>	<b>Asthenospermie bei subfertilen Männern, OR (95%-KI)</b>	<b>Teratozoospermie bei subfertilen Männern, OR (95%-KI)</b>			
			Art der Gefahr							
			Beruflich		<b>1,8 (0,57–5,53)</b>	1,07 (0,87–1,32)	<b>5,23 (0,52–52,20)</b>			
			Umweltbedingt		1,03 (0,84–1,19)	1,19 (0,43–3,31)	<b>2,6 (0,34–19,07).</b>			

Tabelle 13 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: männliche Fertilität, epidemiologische Querschnittstudien (450–6 000 MHz) (beruflich)  
(a)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)					Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen			
					Gesamt-Infertilität – < 10 m von Hochfrequenzantennen, OR (95%-KI)	Test für linearen Trend (Mantel-Haenszel-Chi-Quadrat)	Gesamt-Infertilität – < 3 m von Kommunikationsgeräten, OR (95%-KI)	Test für linearen Trend (Mantel-Haenszel-Chi-Quadrat)	Gesamt-Infertilität – < 5 m von Radar, OR (95%-KI)			Test für linearen Trend (Mantel-Haenszel-Chi-Quadrat)		
2. Baste et al., 2008. Norwegen. 2002–2004. Querschnittstudie	9 925 derzeitige und ehemalige männliche Angehörige des Militärs (der Königlich Norwegischen Marine), definiert durch die Militärbeschäftigungsliste (M); mittleres Alter 49.	Hochfrequenzantennen, Kommunikationsgeräte, Radar. Von den Befragten selbst eingeschätzte Exposition am Arbeitsplatz und Alterskategorien, die per postalischem Fragebogen ermittelt wurden.	Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern: Arbeit näher als 10 m an Hochfrequenzantennen, näher als 3 m an Kommunikationsgeräten und näher als 5 m an Radargeräten.	Infertilität. Odds-Ratios und 95%-KI aus angepassten logistischen Regressionsmodellen; Mantel-Haenszel-Test für linearen Trend.							Infertilität. Odds-Ratios und 95%-KI aus angepassten logistischen Regressionsmodellen; Mantel-Haenszel-Test für linearen Trend.	Ausreichend/Positiv		
			Alter < 29											
			Nicht exponiert											
			Niedrig	1,00 (Ref.)	0,013	1,00 (Ref.)	0,077	1,00 (Ref.)	0,001	Von den Befragten selbst berichtete Expositionshöhe.				
			Mäßig	1,10 (0,30–4,07)		1,86 (0,54–6,40)		0,87 (0,25–2,99)						
			Hoch	0,71 (0,15–3,34)		3,56 (1,05–12,08)		2,13 (0,64–7,06)						
			Sehr hoch	3,84 (1,09–13,52)		3,50 (0,83–14,78)		1,11 (0,20–6,00)						
			Alter 30–39			2,70 (0,76–9,53)		2,49 (0,60–10,42)		5,09 (1,59–16,30)				
			Nicht exponiert											
			Niedrig	1,00 (Ref.)	0,011	1,00 (Ref.)	0,007	1,00 (Ref.)	0,005					
			Mäßig	1,24 (0,83–1,87)		1,53 (1,04–2,26)		1,46 (0,99–2,15)						
			Hoch	1,36 (0,90–2,04)		1,88 (1,25–2,82)		1,32 (0,87–2,02)						
			Sehr hoch	1,51 (0,97–2,37)		1,76 (1,11–2,80)		1,79 (1,14–2,82)						
			Alter 40–49			1,72 (1,08–2,74)		1,80 (1,10–2,96)		1,91 (1,19–3,07)				
			Nicht exponiert											
			Niedrig	1,00 (Ref.)	< 0,001	1,00 (Ref.)	< 0,001	1,00 (Ref.)	0,002					
			Mäßig	1,46 (1,03–2,07)		1,04 (0,75–1,45)		1,22 (0,87–1,71)						
			Hoch	1,43 (0,99–2,07)		1,28 (0,91–1,81)		1,24 (0,87–1,79)						
			Sehr hoch	1,82 (1,21–2,75)		1,37 (0,91–2,08)		1,59 (1,05–2,41)						
			Alter > 50			1,90 (1,20–3,01)		1,86 (1,18–2,94)		1,50 (0,95–2,35)				
Nicht exponiert														
Niedrig	1,00 (Ref.)	< 0,001	1,00 (Ref.)	< 0,001	1,00 (Ref.)	0,001								

	Mäßig	1,28 (0,96–1,69)	1,02 (0,78–1,34)	1,11 (0,84–1,46)
	Hoch	1,59 (1,20–2,11)	1,31 (0,99–1,73)	1,58 (1,20–2,09)
	Sehr hoch	2,02 (1,45–2,81)	1,71 (1,23–2,37)	1,39 (0,98–1,97)

Tabelle 13 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: männliche Fertilität, epidemiologische Querschnittstudien (450–6 000 MHz) (beruflich) (Fortsetzung b)

Studien- informationen	Population	Art der Exposition und Bewertungs- methode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)					Andere Co- Expositionen/ Anpassungen	Anmerkungen
					Infertilität - % (p-Wert aus Chi-Quadrat- Tests)	Biologische Kinder haben - % (p-Wert aus Chi- Quadrat- Tests)	Kinder mit Anomalien oder Chromosomen- fehlern - % (p- Wert aus Chi- Quadrat- oder exakten Fisher- Tests)	Frühge- borene Kinder - % (p- Wert aus Chi- Quadrat- oder exakten Fisher- Tests)	Totgeburten oder Tod von Säuglingen innerhalb 1 Jahres - % (p-Wert aus exakten Fisher-Tests)		
<b>3. Møllerløyken et al., 2008.</b> Norwegen. 2002. Querschnitt- studie.	2 265 (M) Angestellte, die zum entsprechenden Zeitpunkt in der Marine dienten, sowohl Militärs als auch Zivilisten. Mittleres Alter 36 Jahre, Bereich 20–62.	Exposition am Arbeitsplatz durch militärische Kommunikations- geräte. Informationen zum beruflichen Werdegang aus postalisch eingereichtem Fragebogen. Eine Expertengruppe führte bestimmte Arbeitskategorien im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber elektromagne- tischen Feldern.	Arbeiter in den Kategorien Radar/Sonar, (Tele-)Kommunikation, Elektronik und sonstigen Kategorien (unexponiert).	Infertilität, biologische Kinder, Anomalien, Chromosomenfehler, Früh- und Totgeburten oder Tod von Säuglingen. Inzidenz des Ergebnisses nach Expositionsgruppe (%); Chi-Quadrat- oder exakte Fisher-Tests zur Beurteilung der Signifikanz der Unterschiede zwischen den Gruppen.						Alter, jemals geraucht, militärische Ausbildung und körperliche Aktivität bei der Arbeit.	Ausreichend /positiv
			Sonstige Berufe (unexponierte Gruppe)	8,6	62,0	3,5	7,9	2,3			
			Arbeiter im Bereich (Tele-)Kommunikation (Kommunikationsgeräte, Funk)	<b>14,8 (0,01)</b>	63,5 (0,70)	6,0 (0,18)	10,8 (0,18)	3,6 (0,22)			
			Arbeiter im Bereich Elektronik (Elektronik für Waffen und Kommunikationsgeräte)	12,1 (0,15)	58,6 (0,40)	1,8 (0,19)	9,5 (0,44)	1,8 (0,47)			
			Arbeiter im Bereich Radar/Sonar (Radar)	<b>17,5 (&lt; 0,01)</b>	70,4 (0,10)	7,1 (0,11)	9,1 (0,37)	2,0 (0,61)			

Tabelle 13 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: männliche Fertilität, epidemiologische Querschnittstudien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung c)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95 %-KI)					Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen
					Volumen (ml), Korrelation, p-Wert	Spermienkonzentration (Mio./ml)	Gesamtbeweglichkeit (%)	Gesamt-spermienzahl (Mio./Ejakulat)	Gesamtzahl beweglicher Spermien (Mio./Ejakulat)		
<b>4. Fejez et al. 2005.</b> Ungarn. Querschnittstudie.	611 nacheinander aufgenommene Männer kaukasischer Abstammung im reproduktionsfähigen Alter aus einer Fertilitätsklinik.	Von den Befragten selbst berichtet	Dauer des Besitzes (in Monaten), Dauer der Bereitschaftsposition in einem Abstand von weniger als 50 cm zum Patienten (in Stunden) und Dauer der täglichen Übertragung (in Minuten).	Samenqualität. Es wurden ein parametrischer t-Test und der Pearson-Korrelationstest angewendet.						Exposition am Arbeitsplatz gegenüber bestimmten chemischen Pestiziden, Erdöl, Lösungsmitteln, Blei und Nitrosaminen, Tabakkonsum.	Unzureichend
			<i>Dauer des Besitzes (Monate)</i>		-0,02, 0,64	-0,01, 0,91	-0,08, 0,14	-0,01, 0,81	-0,03, 0,53	Viele Störfaktoren nicht analysiert	
			<i>Dauer der täglichen Bereitschaftszeit (Standby) (Stunden)</i>		0,05, 0,42	-0,01, 0,39	-0,03, 0,64	-0,05, 0,41	-0,07, 0,22		
			<i>Dauer der täglichen Übertragung (Minuten)</i>		-0,01, 0,84	-0,04, 0,84	-0,07, 0,16	-0,03, 0,58	-0,00, 0,54		
<b>5. Jurewicz et al. 2014 und Radwan et al. 2016.</b> Polen. Querschnittstudie.	344 Männer im Alter von < 45 Jahren, die zwischen 2008 und 2011 zu diagnostischen Zwecken Fertilitätskliniken in Lodz, Polen aufsuchten.	Änderbare Faktoren der Lebensweise, darunter Nutzung von Mobiltelefonen, ermittelt anhand eines von den Befragten selbst ausgefüllten Fragebogens.	Dauer der Exposition durch die Nutzung von Mobiltelefonen, bewertet in Jahren.	Samenqualität (Referenzwerte der WHO 1999) und DNA-Fragmentierung. Zur Bewertung des Zusammenhangs wurden mehrere lineare Regressionen verwendet.	<b>Koeff. für Nutzung von Mobiltelefonen, 0–5 Jahre (p-Wert)</b>	<b>Koeff. für Nutzung von Mobiltelefonen, 6–10 Jahre (p-Wert)</b>	<b>Koeff. für Nutzung von Mobiltelefonen, 11–25 Jahre (p-Wert)</b>			Der Prozentsatz der beweglichen Spermien verringerte sich, wenn mehr als 10 Jahre lang Mobiltelefone genutzt wurden	Ausreichend/positiv
			Volumen	1,16 (Ref.)	-0,06 (0,32)	-0,01 (0,84)					
			Konzentration	3,03 (Ref.)	0,29 (0,22)	-0,42 (0,13)					
			Beweglichkeit	60,77 (Ref.)	-4,13 (0,30)	<b>-11,27 (0,01)</b>					
			Atypisch	45,73 (Ref.)	4,44 (0,42)	<b>19,00 (0,01)</b>					
			Anomalien des Spermienkopfes	32,42 (Ref.)	2,28 (0,69)	<b>17,58 (0,01)</b>					
			Anomalien des Spermienmittelstücks	12,04 (Ref.)	-0,25 (0,86)	0,12 (0,94)					

				Anomalien des Spermien-schwanzes	2,02 (Ref.)	-0,01 (0,96)	-0,02 (0,93)				
				DNA-Fragmentierungsindex	2,52 (Ref.)	0,01 (0,97)	0,20 (0,22)				



Tabelle 13 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: männliche Fertilität, epidemiologische Querschnittstudien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung d)

Studien- informationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung					Andere Co- Expositionen/ Anpassungen	Anmerkungen				
					Volumen	Gesamt- spermienzahl (Mio.)	Gesamt- zahl beweg- licher Spermien (Mio.)	Gesamtzahl progressiv beweg- licher Spermien (Mio.)	Morpho- logie						
6. Yildirim et al., 2015. Türkei, 2013-2014. Querschnitt- studie.	1 031 gesunde Männer aus der Andrologie-Abteilung der Urologie (Turgut- Özal-Universität)	Nutzung von Mobiltelefonen (850– 1 800 MHz) und drahtlosem Internet (2 400 MHz), ermittelt anhand eines anonymen Fragebogens.	Tägliche Nutzung von Mobiltelefonen, Art und Weise des Tragens des Mobiltelefons, Dauer der Nutzung von drahtlosem Internet und Art der Internetnutzung.	Spermienparameter. Pearson-Korrelationskoeffizienten, Koeffizienten, Student-t-Test (2- seitig) und einfache Varianzanalyse (ANOVA).						-	Unzureichend				
					Von den Befragten selbst berichtet	<i>Dauer der Nutzung von Mobiltelefonen (Stunden)</i>	Einseitige Varianzanalyse, p-Wert	0,194	0,074			<b>0,05</b>	0,083	0,909	Störfaktoren nicht analysiert
						< 0,5		2,9 ± 1,41	42,3 ± 16,3			61,1 ± 60,6	47,5 ± 50,8	2,8 ± 1,9	
						0,5–2		2,9 ± 1,19	39,2 ± 16,3			54,6 ± 50,6	42,5 ± 42,1	2,57 ± 1,76	
						> 2		3,01 ± 1,45	37,8 ± 16,1			53,8 ± 59	41,6 ± 51,2	2,74 ± 1,72	
						<i>Art und Weise des Tragens des Mobiltelefons</i>	Einseitige Varianzanalyse, p-Wert	0,973	0,256			0,168	0,538	<b>0,034</b>	
						Hosentasche		2,9 ± 1,37	39,1 ± 31,1			56,5 ± 60,1	43,8 ± 51	2,72 ± 1,81	
						Handtasche		3,08 ± 1,4	45 ± 31,6			63 ± 48,6	49,6 ± 41,4	3,18 ± 2,47	
						Jackentasche		3,02 ± 1,38	40,3 ± 27			53,6 ± 49,1	41,9 ± 41,1	2,43 ± 1,38	
						<i>Dauer der Nutzung von drahtlosem Internet (Stunden)</i>	Einseitige Varianzanalyse, p-Wert	0,43	0,093			<b>0,032</b>	<b>0,033</b>	0,305	
						< 0,5		2,99 ± 1,4	43 ± 33			61,7 ± 60,2	48,2 ± 53,7	2,73 ± 1,84	
						0,5–2		2,81 ± 1,32	41,8 ± 28,2			56,2 ± 57,5	43 ± 42,1	2,65 ± 1,75	
						> 2		2,99 ± 1,36	37,4 ± 29,4			53,8 ± 57,5	41,8 ± 49,6	2,73 ± 1,85	
	<i>Internetnutzung</i>	Student-t-Test, p-Wert	0,064	0,054	<b>0,009</b>	<b>0,018</b>	0,182								
	Kabelgebunden		2,92 ± 1,25	42 ± 32,3	62,7 ± 61,3	48,9 ± 50,3	2,82 ± 1,72								
	Drahtlos		2,98 ± 1,43	38,8 ± 29,6	53,6 ± 55,2	41,1 ± 47,7	2,67 ± 1,88								
7. Zilberlicht et al, 2015. Israel, 2011–2012. Querschnitt- studie.	80 männliche Patienten bei der Abklärung der Infertilität in der Abteilung für Fertilität und künstliche Befruchtung des Carmel Medical Centre.	Tägliche Gewohnheiten bei der Nutzung von Mobiltelefonen, ermittelt anhand eines von den Befragten selbst ausgefüllten Fragebogens.	Tägliche Gewohnheiten bei der Nutzung von Mobiltelefonen.	Die Samenqualität wurde mithilfe von vier Parametern beurteilt: Volumen, Konzentration, Motilität und Morphologie. Variablen, die in der univariaten Analyse statistisch signifikant waren, wurden in eine multivariate logistische Regressionsanalyse einbezogen. ORs wurden mit 95- %-Konfidenzintervall (KI) berechnet.	<b>p-Wert für Zusammen- hang mit Spermienkon- zentration, abnorm vs. normal</b>	<b>OR (95%-KI) für abnorme Spermienkon- zentration</b>	<b>p-Wert</b>		Rauchen, Alter, Wohngegend, Beruf, Anzahl der Kinder, Ausbildungsja hre.	Ausreichend/ positiv					

		Gesamte tägliche Gesprächszeit (≤ 1 Stunde / > 1 Stunde)		0,040	Nicht angegeben	n. s.				
		Sprechen, während das Gerät geladen wird (ja/nein)		0,020	4,13 (1,28–13,3)	0,018				

Tabelle 13 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: männliche Fertilität, epidemiologische Querschnittstudien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung e)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung	Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen
<b>8. Al-Bayyari, 2017.</b> Jordanien, 2015–2016. Beobachtende Querschnittstudie.	159 Männer, die Fertilitätskliniken in den Gouvernements Nord, Mitte und Süd in Jordanien aufsuchten.	Tägliche Gewohnheiten bei der Nutzung von Mobiltelefonen, ermittelt anhand von Befragungen mithilfe eines strukturierten Fragebogens.	Zeit der Gespräche über das Mobiltelefon.	Samenqualität. Zur Bewertung des Zusammenhangs wurden der Pearson-Chi-Quadrat-Test (v2) und der exakte Fisher-Test angewendet.	<b>Tägliche Gesamtgesprächszeit (≤ 1 Stunde/Tag vs. &gt; 1 Stunde/Tag), p-Wert</b>	-	Unzureichend
				Spermienkonzentration (Grenzwert 20 Mio./ml)	0,494	Alle aus einer Fertilitätsklinik	
				Volumen (Grenzwert 3 ml)	0,457		
				Viskosität (normal vs. abnorm)	0,556		
				Verflüssigungszeit (Grenzwert 20 Minuten)	0,534		
				Beweglichkeit der Spermien (%)	n. s.		
				Morphologie der Spermien (%)	n. s.		
<b>9. Shi et al., 2018.</b> China, 2015–2016. Querschnittstudie.	328 Männer im Alter von < 65 Jahren, die zur Spermienanalyse Kliniken aufsuchten.	Die Nutzung von Mobiltelefonen wurde anhand eines von den Befragten selbst ausgefüllten Fragebogens ermittelt.	Gewohnheit, das Telefon in der Hose zu tragen.	Spermienanalyse, Spermiovitalität, Akrosomreaktions(AR)-Test und DNA-Fragmentierungsindex (DFI) der Spermien. Zur Analyse des möglichen nichtlinearen Zusammenhangs wurden verallgemeinerte additive Modelle herangezogen.	<b>Dauer der Nutzung von Mobiltelefonen in der Hosentasche (Stunden/Tag)</b>	BMI, Rauchen und Alkoholkonsum, Schlaf, tägliche Flüssigkeitszufuhr, wöchentlicher Fleischkonsum, Häufigkeit körperlicher Aktivität, Mobiltelefonnutzung in der Hose, Alter, Abstinenzzeit	Unzureichend
				Volumen	n. s.		
				Konzentration	n. s.	Alle aus einer Fertilitätsklinik	
				GSZ	n. s.		
				Beweglichkeit	n. s.		
				Gesamtzahl beweglicher Spermien	n. s.		
				Vitalität	n. s.		
DFI	n. s.						

<b>10. Blay et al., 2020.</b> Ghana, 2004–2015. Querschnittstudie.	80 Männer im Alter von 21 bis 62 Jahren, die in einer Fertilitätsklinik in Accra, Ghana, rekrutiert wurden.	Ermittlung der Lebensgewohnheiten anhand eines strukturierten Fragebogens.	Nutzung von Mobiltelefonen und Ort am Körper, an dem diese üblicherweise aufbewahrt werden.	AR	n. s.	Allgemeine Merkmale, Krankengeschichte, insbesondere Erkrankungen des Immunsystems, Rauchgewohnheiten.	Unzureichend	
				Parameter für Samenqualität. Der unabhängige Student-t-Test und der Pearson-Chi-Quadrat-Test wurden verwendet, um den Zusammenhang zwischen den Variablen zu testen.	<b>Aufbewahrungsort des Mobiltelefons am Körper (Seitentasche vs. andere Stelle), p-Wert</b>			
					Volumen	0,884	Erhöhte Aktivität und Lebensfähigkeit, wenn das Mobiltelefon in der Seitentasche getragen wurde.	
					pH	0,741		
					Aktive Beweglichkeit (%)	<b>0,002</b>		
					Träge Beweglichkeit (%)	0,269		
					Träge Beweglichkeit (%)	0,486	Alle aus einer Fertilitätsklinik	
					Lebensfähigkeit (%)	<b>0,009</b>		
				Zahl (x106/ml)	0,109			

Tabelle 14 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: männliche Fertilität, epidemiologische Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (a)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)				Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen
<b>11. Zhang et al., 2016.</b> China, 2013–2015. Kohortenstudie MARHCS	794 (2013), 666 (2014) und 568 (2015) junge Männer im Alter von < 18 Jahren, College-Studenten, die an der Studie Male Reproductive Health in Chongqing College Students (MARHCS) teilnahmen.	Nutzung von Mobiltelefonen, ermittelt anhand eines Fragebogens.	Anzahl der im Besitz befindlichen Mobiltelefone, Vorhandensein der 3G-Funktion, Dauer der Mobiltelefonnutzung, Position, in der das Mobiltelefon getragen wird, tägliche Dauer, wie lange das Mobiltelefon eingeschaltet ist (in einem Umkreis von 50 cm um den Körper), tägliche Internetnutzung oder monatlicher Datenverkehr über Mobilfunknetze und tägliche Gesprächszeit mit dem Mobiltelefon in den letzten drei Monaten.	Spermienparameter. Es wurde ein gemischtes Modell für lineare Regression angewendet, um alle drei Jahre an Datenverkehr und Mobiltelefonnutzung sowie die Samenparameter zu bewerten	<b>Volumen (ml), Koeff. aus gemischtem Modell (95%-KI), p-Wert</b>	<b>Spermienkonzentration (Mio./ml), Koeff. aus gemischtem Modell (95%-KI), p-Wert</b>	<b>Gesamtspemienzahl (Mio.), Koeff. aus gemischtem Modell (95%-KI), p-Wert</b>	<b>Progressiv bewegliche Spermien (Mio.), Koeff. aus gemischtem Modell (95%-KI), p-Wert</b>	Alter, Dauer der Enthaltbarkeit, Body-Mass-Index (BMI), Rauchen und Alkoholkonsum sowie der Konsum von Cola, Kaffee und frittierten Lebensmitteln	Ausreichend/positiv
					-2,19 (-4,39, 0,06), 0,056	-2,90 (6,91, 1,27), 0,170	<b>-4,87 (-9,27, -0,27), 0,038</b>	-0,77 (-2,71, 1,22), 0,445		

			<i>Internetnutzung über das Mobilfunknetz (Stunden, 2013)</i>		0,42 (-0,71, 1,56), 0,472	<b>-2,74 (-4,53, -0,91), 0,004</b>	<b>-2,75 (-4,76, -0,69), 0,009</b>	0,51 (-0,29, 1,32), 0,213		
			<i>Monatlicher Datenverkehr (GB, 2014–2015)</i>		<b>-1,47 (-2,74, -0,19), 0,025</b>	-1,65 (-4,04, 0,80), 0,185	<b>-3,22 (-5,85, -0,52), 0,020</b>	-0,19 (-1,08, 1,48), 0,770		

Tabelle 14 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: männliche Fertilität, epidemiologische Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung b)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)						Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen	
					Absolute Unterschiede [ $\beta$ (95%-KI)], Spermavolumen	Absolute Unterschiede [ $\beta$ (95%-KI)], Gesamtbeweglichkeit	Relative Unterschiede [ $\exp(\beta)$ (95%-KI)], Gesamt-spermienzahl	Relative Unterschiede [ $\exp(\beta)$ (95%-KI)], Spermienkonzentration	Relative Unterschiede [ $\exp(\beta)$ (95%-KI)], Gesamtzahl beweglicher Spermien	Relative Unterschiede [ $\exp(\beta)$ (95%-KI)], normale Spermienmorphologie			
12. Lewis et al, 2017. USA. 2004–2015. Längsschnitt-Kohortenstudie	384 (M); 18–56 Jahre; Männer, die in einer Fertilitätsklinik in Boston im US-Bundesstaat Massachusetts rekrutiert wurden, nahmen an der Environment and Reproductive Health (EARTH) Study teil.	Hochfrequente Strahlung von Mobiltelefonen; Von den Befragten selbst berichtete Expositionen durch Mobiltelefone.	Nutzung, Dauer (keine Nutzung, < 2 Stunden/Tag, 2–4 Stunden/Tag, > 4 Stunden/Tag), Verwendung von Headsets oder Ohrhörern (H/O, kein H/O) und Ort, an dem das Mobiltelefon getragen wurde (Hosentasche, Gürtel, Tasche, Sonstiges).	Spermienbeweglichkeit, Gesamtspermienzahl, Gesamtzahl beweglicher Spermien, Spermienmorphologie. Strenge Bewertungskriterien nach Kruger wurden herangezogen, um eine Einstufung der Männer als „normale Morphologie“ oder „unterhalb der normalen Morphologie“ mittels verblindeter Spermaanalyse vorzunehmen. Lineare gemischte Modelle mit zufälligen Teilnehmer-Effekten.							Allgemeine Merkmale, Krankengeschichte, insbesondere Erkrankungen des Immunsystems, Rauchgewohnheiten. Alle aus einer Fertilitätsklinik	Ausreichend/positiv	
			<i>Nutzungskategorie (Stunden/Tag) und Verwendung eines Headsets oder Ohrhörers.</i>										
			Keine Nutzung	0 (Ref.)	0 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)				
			< 2 Stunden/Tag, H/O	0,74 (0,08–1,41)	-13,05 (1,57–24,53)	-1,60 (1,04–2,46)	-1,24 (0,81–1,89)	2,43 (1,17–5,07)	0,94 (0,68–1,31)				
			< 2 Stunden/Tag, kein H/O	0,40 (-0,06–0,86)	4,47 (-3,53–12,46)	1,09 (0,80–1,47)	0,99 (0,74–1,33)	1,39 (0,83–2,31)	0,97 (0,77–1,22)				
			> 2 Stunden/Tag, H/O	0,29 (-0,43–1,01)	3,06 (-9,39–15,50)	1,14 (0,71–1,82)	1,03 (0,65–1,63)	1,44 (0,65–3,20)	0,84 (0,59–1,20)				
> 2 Stunden/Tag, kein H/O	-0,12 (0,93–0,68)	4,10 (-9,72–17,93)	1,47 (0,87–2,47)	1,52 (0,91–2,53)	1,89 (0,78–4,58)	0,83 (0,56–1,23)							

Tabelle 15 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: Wirkungen auf die Entwicklung, epidemiologische Fall-Kontroll-Studien (450–6 000 MHz) (a)

Studien- informationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95-%-KI)	Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen						
<b>13. Tan et al., 2014.</b> Singapur. November 2010 und Februar 2011. Fall-Kontroll-Studie.	Frauen mit drohender Fehlgeburt in der 5. bis 10. Schwangerschaftswoche, die in der Notfallklinik des KK Womens and Childrens Hospital (KKH) in Singapur behandelt wurden. (W). Das mittlere Alter der Fälle und der Kontrollen lag bei 30,2 bzw. 30,7 Jahren.	Potenziell änderbare Faktoren der Lebensweise wurden zum Zeitpunkt der Rekrutierung durch persönliche Befragung von Fällen und Kontrollen ermittelt. Die Nutzung von Mobiltelefonen und Computern wurde als von den Befragten selbst angegebene Anzahl von Nutzungsstunden pro Tag auf der Grundlage der letzten Woche quantifiziert.	Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern durch Mobiltelefone und Fernsehen. Eine längere Dauer der Mobiltelefon- oder Computernutzung war mit einem höheren Risiko einer drohenden Fehlgeburt verbunden, wobei eine Dosis-Wirkungs-Beziehung vorlag	Zusammenhang zwischen potenziellen Risikofaktoren der Lebensweise (Nutzung von Mobiltelefonen und Fernsehkonsum) und drohender Fehlgeburt: Ergebnisse einer bereinigten logistischen Regressionsanalyse. Multivariate Analyse mit Bereinigung um alle Störfaktoren und um Schwangerschaftsalter.	<b>Bereinigte OR (95-%-Konfidenzintervalle):</b>	Alter der Mutter, Alter des Vaters, Schwangerschaftsalter, ethnische Zugehörigkeit, Größe, Gewicht, Regelmäßigkeit des Menstruationszyklus, Wohnungsart, Bildungsniveau, medizinische/schwangerschaftsbezogene/gynäkologische/psychiatrische Anamnese, derzeitiges und früheres Zigarettenrauchen, Exposition gegenüber Passiv-Zigarettenrauch in der Wohnung, derzeitiger und früherer Alkoholkonsum, derzeitiger und früherer Koffeinkonsum, wahrgenommener Stresspegel, Konsum von Docosahexaensäure (DHA) und jüngste Anwendung von Verhütungsmitteln	<b>Ausreichend/positiv</b>						
								Mobiltelefonnutzung					
								0 bis < 1 Stunde	1	Stress nicht als Störfaktor angesehen			
								≥ 1 bis < 2 Stunden	2,94 (1,32–6,53)				
								≥ 2 Stunden	-6,32 (2,71–14,75)				
								Computernutzung					
								0 bis < 1 Stunde	1				
								≥ 1 bis < 4 Stunden	2,66 (1,16–6,09)				
≥ 4 Stunden	6,03 (2,82–12,88)												
<b>14. Mahmoudabadi et al., 2015.</b> Iran. Vor 2015. Fall-Kontroll-Studie.	292 Frauen, die nach < 14 Wochen Schwangerschaftsalter einen Spontanabort hatten, und 308 zugeordnete Schwangere im Schwangerschaftsalter von > 14 Wochen wurden aufgenommen. Die Teilnehmerinnen wurden an 10 Krankenhäusern in Teheran rekrutiert.	Es wurde ein Datenerhebungsformular ausgefüllt, um Daten zur Nutzung von Mobiltelefonen während der Schwangerschaft zu erheben.	Durchschnittliche Anrufdauer pro Tag, Aufbewahrungsort der Mobiltelefone bei Nichtgebrauch, Verwendung von Freisprecheinrichtungen, Verwendung von Telefonen für andere Anwendungen, vom Hersteller angegebene spezifische Absorptionsrate (SAR) und Durchschnitt der effektiven SAR (durchschnittliche Anrufdauer pro Tag × SAR).	Spontanaborte. Ein logistisches Regressionsmodell wurde zur Berechnung von OR und 95-%KI angewendet; *t-Student-Test, ** Chi-Quadrat-Test oder exakter Fisher-Test wurden zur Beurteilung des Zusammenhangs verwendet.	<b>OR (95-%-KI)</b>	<b>p (2-seitig)</b>	Effektive SAR, Alter der Mutter, Alter des Vaters, Aborte in der Anamnese und familiäre Beziehung  Störfaktoren der Lebensweise nicht analysiert	<b>Ausreichend/positiv</b>					
									Zusammenhang zwischen Spontanaborten und der effektiven SAR (spezifischen Absorptionsrate)	1,11 (1,07–1,16)			
									Gesprächsdauer pro Tag*		< 0,001		

		(Minuten) Mittelwert ± SD					
		Verwendung von Freisprecheinrichtungen** n (%)				0,09	
		Aufbewahrungsort d. Mobiltelefone bei Nichtgebrauch** n (%)				< 0,001	
		Nutzung d. Telefons für andere Anwendungen **n (%)				< 0,001	
		Effektive SAR* Mittelwert ± SD				< 0,001	

Tabelle 16 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: Wirkungen auf die Entwicklung, epidemiologische Querschnittstudien (450–6 000 MHz) (a)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)			Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen
15. Col Araz et al., 2013. Türkei, 2009. Querschnittstudie.	500 Mütter aus der Ambulanz der Abteilung für Pädiatrie der Universität Gaziantep.	Nutzung von Fernsehen, Computer und Mobiltelefonen während der Schwangerschaft, ermittelt anhand eines von den Befragten selbst ausgefüllten Fragebogens	Mobiltelefonnutzung, Computernutzung (Nutzer vs. Nicht-Nutzer).	Geburtsgewicht und Frühgeburt. Es wurden der Chi-Quadrat-Test, der t-Test für unabhängige Stichproben sowie OR und 95%-KI aus der logistischen Regressionsanalyse verwendet.	<b>Entbindung vor 37 Wochen, <math>\chi^2</math> (p-Wert)</b>	<b>Entbindungswoche, Mittelwert ±SD</b>	<b>Entbindungswoche, p-Wert</b>	Soziodemografische Informationen, Gewicht der Mutter, Größe, Gewichtszunahme, Tabak- und Alkoholkonsum während der Schwangerschaft, Krankheitsgeschichte, Einhaltung des religiösen Fastens während der Schwangerschaft, Konsum von Tee, Milch und Joghurt, Geburtswoche und Geburtsgewicht der anderen Kinder, falls vorhanden.	Ausreichend /positiv
			Mobiltelefonnutzung		<b>5,584 (&lt; 0,018)</b>		<b>&lt; 0,005</b>		
			Nutzer			38,7 ± 1,9			
			Nicht-Nutzer			39,2 ± 1,6			
			Dauer der Mobiltelefonnutzung				<b>&lt; 0,001</b>		
			≤ 1 Stunde/Tag			37,6 ± 2,2			
			> 1 Stunde/Tag			38,8 ± 1,8			
			Computernutzung		<b>4,510 (&lt; 0,034)</b>		<b>&lt; 0,048</b>		
			Nutzer			38,5 ± 1,8			
			Nicht-Nutzer			38,9 ± 1,8			
Dauer der Mobiltelefonnutzung				n. s.					
≤ 1 Stunde/Tag			Nicht angegeben						



<p><b>16. Zarei S. et al., 2015.</b> Iran. 2014. Querschnittstudie.</p>			> 1 Stunde/Tag			Nicht angegeben			
	Mütter von 35 gesunden Kindern (Kontrollgruppe) und 77 Kindern im Alter von 3 bis 5 Jahren, bei denen Sprachprobleme diagnostiziert wurden (W).	Verschiedene Quellen elektromagnetischer Felder (sowohl HF-EMF als auch ENF) wie Mobiltelefone, Mobilfunkbasisstationen, WLAN, schnurlose Telefone, Laptops und Stromleitungen. Von den Befragten selbst bewertete Exposition gegenüber verschiedenen Quellen elektromagnetischer Felder.	Die durchschnittliche tägliche (Mobiltelefon-)Anrufdauer betrug etwa 20 Minuten. Anrufdauer, Vorgeschichte der Mobiltelefonnutzung (Monate der Nutzung), durchschnittliche tägliche Anrufdauer, Nutzung schnurloser Telefone und Nutzung von Kathodenstrahlröhren-Geräten während der Schwangerschaft.	Sprachprobleme bei Nachkommen. Ein p-Wert von weniger als 0,05 wurde als signifikant angesehen.				Alter, Anteil der Heiraten unter Blutsverwandten, Rauchen, zahnärztliche Röntgenanamnese, durchschnittliche Anzahl der Schwangerschaften	Unzureichend
			Anrufdauer		0,002				
			Mobiltelefonnutzung in der Vergangenheit		0,003				
			durchschnittliche tägliche Anrufdauer während der Schwangerschaft		n. s.				
			Nutzung von schnurlosen Telefonen		0,528				
		Nutzung von Kathodenstrahlröhren-Geräten		0,990					

Tabelle 16 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: Wirkungen auf die Entwicklung, epidemiologische Querschnittstudien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung b)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)			Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen	
<b>17. Abad et al., 2016.</b> Iran, 2009. Querschnittstudie.	413 schwangere Frauen (Alter 18–35 Jahre) aus der Region Teheran. Die Informationen zur Fortpflanzung wurden anhand der Krankenakten der Krankenhäuser erhoben, in denen die Patientinnen entbunden hatten.	Die Umweltexposition gegenüber EMF (Bereich 27 MHz–3 GHz) wurde mit Hilfe von NARDA an der Eingangstür der Häuser der Teilnehmerinnen dreimal während der Schwangerschaft (Trimester 1, 2, 3) bewertet. Andere Informationen anhand einer persönlichen Befragung ermittelt.	Umweltexposition gegenüber EMF.	Fehlgeburten (Spontanabort, niedriges Geburtsgewicht, Frühgeburt, und intrauteriner Fruchttod). t-Test für unabhängige Stichproben.					Unzureichend	
			Digitale Rundfunk- und Fernsehdienste auf der zentralen Frequenz 650 MHz			0,85				
			Mobile Kommunikationsdienste 1,5 GHz			0,67				
			WLAN-Zugang und MISC auf der zentralen Frequenz 2,45 GHz			0,42				
<b>18 Lu et al. 2017.</b> Japan. 2012–2014. Querschnittsstudie basierend auf Kohortendaten.	461 Mutter-Kind-Paare (M und W). Data aus der Japan Environment and Children's Study (JECS) und der JECS-Zusatzstudie in Kumamoto.	Hochfrequente Strahlung von Mobiltelefonen; Selbstbewertete Exposition mittels von den Befragten selbst ausgefüllter Fragebögen zu Informationen über die Mobiltelefonnutzung der Mutter während der Schwangerschaft. In dieser Studie wurde eine Kurzversion der Self-Perception of Text-Message Dependency Scale (Skala zur Selbstwahrnehmung der Abhängigkeit von Textnachrichten, STDS) zur Beurteilung der Abhängigkeit von Textnachrichten verwendet.	Tägliche Nutzungszeiten des Mobiltelefons, Aufbewahrungsort des Telefons tagsüber und nachts und Einschaltzustand (ein/aus) des Mobiltelefons während des Schlafs. Zur Ermittlung der exzessiven Nutzung von Mobiltelefonen wurde ein Grenzwert von 15 Punkten für den Punktwert „exzessive Nutzung“ in der STDS herangezogen.	Geburtsgewicht und Gesundheitszustand des Säuglings (Geburtsgröße, Kopfumfang bei der Geburt, Brustumfang bei der Geburt, Art der Entbindung, Schwangerschaftswochen, Plazentagewicht, niedriges Geburtsgewicht), Notfalltransport von Säuglingen und Frühgeburt; es wurde eine lineare Regression angewendet.	$\beta$ (95%-KI) für Geburtsgewicht	Bereinigte OR (95%-KI), Notfalltransport von Säuglingen	Bereinigte OR (95%-KI), Frühgeburt	Alter der Mutter, Geburtsgröße, BMI der Mutter vor der Schwangerschaft, mütterliches Alter, Kopfumfang bei der Geburt, Erst- oder Folgegeburt, Rauchen der Mutter.	Unzureichend	

		Tägliche Mobiltelefonnutzung						
		Normale Nutzer		0 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)		
		Exzessive Nutzervon Mobiltelefonen		-66,46 (-114,46–18,46)	7,93 (1,40–44,85)	0,67 (< 0,09–4,97)		

Tabelle 17 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: Wirkungen auf die Entwicklung, epidemiologische Kohortenstudien (450–6 000 MHz) (a)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)					Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen		
					Frühgeburt (< 37 Wochen) – OR (95%-KI)	Niedriges Geburtsgewicht (< 2 500 g) – OR (95%-KI)	Frühe Totgeburt (zwischen 16 und 28 Wochen) – OR (95%-KI)	Späte Totgeburt (nach 28 Wochen) – OR (95%-KI)	Männliches Geschlecht – OR (95%-KI)			Jeglicher Geburtsfehler – OR (95%-KI)	
19. Mjøen et al., 2006. Norwegen 1976–1995. Kohortenstudie.	541 593 Geburten (M und W). Daten zu allen zwischen 1976 und 1995 in Norwegen registrierten Geburten aus dem medizinischen Geburtenregister von Norwegen; Die allgemeinen Volkszählungen in Norwegen enthalten Daten über Berufe, die nach der nordischen Klassifikation der Berufe (Nordic Classification of Occupations) kodiert sind.	Beruf des Vaters kategorisiert als „wahrscheinlich nicht exponiert“, „möglicherweise exponiert“ und „wahrscheinlich exponiert“, was die Wahrscheinlichkeit der Exposition gegenüber HFS widerspiegelt. Ein Expertengremium bewertete die Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern in den unterschiedlichen Berufen.	Die Expositionshöhe wurde von Experten zugewiesen.	Geburtsfehler, Gesamtzahl der Defekte des ZNS des die Gliedmaßen betreffende Muskel-Skelett-Systems und alle Kategorien zusammen, Frühgeburten, niedriges Geburtsgewicht, Geschlechterverhältnis und perinatale Sterblichkeit. Die relativen Risiken für jede Expositionskategorie wurden durch Annäherung der Odds-Ratios (OR) mit 95%-Konfidenzintervallen (KI) aus logistischen Regressionsmodellen berechnet.	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	Kalenderjahr, Geburtsort und Bildungsstand.	Ausreichend/negativ	
					Wahrscheinlich nicht exponiert	0,99 (0,96–1,02)	1,03 (0,98–1,07)	1,01 (0,91–1,12)	1,01 (0,92–1,11)	1,01 (1,00–1,03)			0,98 (0,94–1,02)
					Möglicherweise exponiert	1,08 (1,03–1,15)	1,03 (0,94–1,13)	0,98 (0,79–1,22)	1,09 (0,89–1,29)	0,99 (0,97–1,02)			0,94 (0,86–1,01)
					Wahrscheinlich exponiert								



			< 50		1,1 (0,6–1,9)	1,3 (0,8–2,7)	1,2 (0,7–2,3)	1,1 (0,7–1,8)	0,62 (0,35–1,11)		
			50–99		0,9 (0,5–1,6)	1,1 (0,6–1,8)	1,2 (0,5–2,2)	1,2 (0,8–2,0)	0,93 (0,58–1,48)		
			100		1,0 (0,5–2,0)	1,1 (0,6–2,0)	1,5 (0,7–3,0)	1,3 (0,8–2,3)	1,09 (0,70–1,70)		

Tabelle 17 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: Wirkungen auf die Entwicklung, epidemiologische Kohortenstudien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung c)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)				Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen
<b>21. Guxens et al., 2013.</b> Niederlande. 2003–2004 Aufnahme; 2008–2009 Beurteilung der Verhaltensprobleme; 2010–2011 retrospektive Expositionsbeurteilung. Die Studie war in eine populationsbasierte prospektive Geburtskohortenstudie integriert.	8 266 schwangere Frauen, 2 618 Kinder (W und M). Schwangere Frauen wurden bei ihrem ersten vorgeburtlichen Besuch bei einem geburtshilflichen Dienstleister aufgenommen. Die Telefonnutzung vor der Geburt wurde retrospektiv mit einem postalischen oder Webfragebogen im siebten Lebensjahr der Kinder bewertet, und die Verhaltensprobleme der Kinder wurden im fünften Lebensjahr beurteilt.	Nutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen während der Schwangerschaft. Von den Befragten selbst bewertete Exposition laut Fragebogen. Angesichts der Einführung der Universal Mobile Telecommunications System-Technologie (universelles mobiles Telekommunikationssystem) in den Niederlanden Anfang 2004 wurde erwartet, dass die Berichte über die Nutzung von Mobiltelefonen fast ausschließlich die Global System for Mobile Communications (globales Mobilfunksystem, GSM) 900/1 800-Technologie betreffen würden.	Die Häufigkeit der Mobiltelefonanrufe wurde bei denjenigen, die angaben, die Freisprecheinrichtung bei „weniger als der Hälfte der Anrufe“ zu nutzen, auf 75 % der Anzahl der Anrufe, bei denjenigen, die angaben, sie bei „mehr als die Hälfte der Anrufe“ zu nutzen, auf 25 % und bei denjenigen, die angaben, sie „fast immer“ zu nutzen, auf 0 gesetzt.	Das Verhalten der Kinder (emotionale Symptome, Verhaltensprobleme, Hyperaktivität/Aufmerksamkeitsprobleme, Probleme in der Beziehung zu Gleichaltrigen und pro-soziales Verhalten) wurde von Grundschullehrern und Müttern anhand des Fragebogens zu Stärken und Schwierigkeiten (Strengths and Difficulties Questionnaire, SDQ) im Alter von 5 Jahren erfasst. Odds-Ratios und 95%-KI aus nicht angepassten und angepassten logistischen Regressionsmodellen.	<b>Vom Lehrer berichtete allgemeine Verhaltensprobleme des Kindes, nicht angepasstes Modell – OR (95%-KI)</b>	<b>Vom Lehrer berichtete allgemeine Verhaltensprobleme des Kindes, angepasstes Modell – OR (95%-KI)</b>	<b>Von der Mutter berichtete allgemeine Verhaltensprobleme des Kindes, nicht angepasstes Modell – OR (95%-KI)</b>	<b>Von der Mutter berichtete allgemeine Verhaltensprobleme des Kindes, angepasstes Modell – OR</b>	Alter der Mutter, Bildungsniveau der Mutter, Geburtsland der Mutter, Parität der Mutter, Gewicht und Größe der Mutter vor der Schwangerschaft, Rauchen der Mutter, Passivrauchen der Mutter zu Hause, Alkoholkonsum der Mutter während der Schwangerschaft, schwangerschaftsbedingte Angst der Mutter sowie Angst und Depressionen der Mutter während der Schwangerschaft, Geburtsadressen der Kinder als Indikator für die sozioökonomische Stellung.	Ausreichend/negativ
			<i>Häufigkeit der Mobiltelefonanrufe vor der Geburt</i>	Keine	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)		

			< 1/Tag		2,09 (0,95–4,62)	2,12 (0,95–4,74)	0,95 (0,39–2,29)	0,89 (0,36–2,20)		
			1–4/Tag		1,53 (0,69–3,42)	1,58 (0,69–3,60)	0,78 (0,32–1,92)	0,73 (0,28–1,85)		
			≥ 5/Tag		1,88 (0,82–4,34)	2,04 (0,86–4,80)	0,77 (0,29–2,06)	0,75 (0,27–2,09)		
			<i>Häufigkeit der Anrufe mit schnurlosen Telefonen vor der Geburt</i>							
			Keine		1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)		
			< 1/Tag		0,89 (0,57–1,39)	1,19 (0,74–1,92)	0,27 (0,15–0,50)	0,35 (0,18–0,67)		
			1–4/Tag		0,76 (0,48–1,22)	1,07 (0,65–1,76)	0,55 (0,32–0,96)	0,73 (0,41–1,33)		
			≥ 5/Tag		0,50 (0,23–1,09)	0,61 (0,27–1,35)	0,40 (0,15–1,07)	0,43 (0,15–1,21)		

Tabelle 17 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: Wirkungen auf die Entwicklung, epidemiologische Kohortenstudien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung d)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)				Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen
					Alle	Niedriger Blutbleispiegel der Mutter	Hoher Blutbleispiegel der Mutter	p-Interaktion		
<b>22. Choi et al., 2017.</b> Südkorea. 2006–2016. Multizentrische prospektive Kohortenstudie (Studie Mothers and Children's Environmental Health (MOCEH)).	1 198 Mutter-Kind-Paare (M und W). Die Teilnehmerinnen wurden in einem Schwangerschaftsalter von ≤ 20 Wochen aufgenommen.	Quellen der Exposition gegenüber HFS, einschließlich Mobiltelefon, Fernsehen, Radio, Arbeiten im Internet und Mobilfunkbasisstationen. Von den Befragten selbst bewertete Exposition anhand eines Fragebogens zur durchschnittlichen Anruhfähigkeit (≤ 2-mal, 3- bis 5-mal und ≥ 6-mal/Tag) und zur durchschnittlichen Anrufdauer (< 3, 3–10, 10–30 und ≥ 30 Minuten/Tag) während der Schwangerschaft.	Intensive Nutzer definiert als Anruhfähigkeit > 6-mal pro Tag oder Anrufdauer > 30 Minuten pro Tag. Kategorien nach durchschnittlicher Anrufdauer (Minuten/Tag)	MDI: Index der geistigen Entwicklung, PDI: Index der psychomotorischen Entwicklung.	<b>OR (95%-KI) für abnehmenden MDI (6–36 Monate)</b>				Exposition am Arbeitsplatz gegenüber bestimmten chemischen Pestiziden, Erdöl, Lösungsmitteln, Blei und Nitrosaminen, Tabakkonsum.	Unzureichend
			<i>Durchschnittliche Anrufdauer (Minuten/Tag)</i>		Alle	Niedriger Blutbleispiegel der Mutter	Hoher Blutbleispiegel der Mutter	p-Interaktion		

					während der Schwangerschaft (< 75 %)	während der Schwangerschaft (< 75 %)				
			< 3	0,50 (0,30–0,83)	0,71 (0,42–1,21)	0 (0-Inf)	0,02			
			3–10	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)				
			10–30	0,85 (0,60–1,19)	0,86 (0,57–1,28)	2,11 (0,67–6,68)				
			> 30	0,63 (0,37–1,08)	0,76 (0,43–1,34)	0 (0-Inf)				
			p für Trend	0,86	0,48	<b>0,05</b>				
				<b>OR (95%-KI) für niedrigen PDI (6–36 Monate)</b>						
		Durchschnittliche Anrufdauer (Minuten/Tag)		Alle	Niedriger Blutbleispiegel der Mutter während der Schwangerschaft (< 75 %)	Hoher Blutbleispiegel der Mutter während der Schwangerschaft (< 75 %)	p-Interaktion			
			< 3	0,47 (0,24–0,94)	0,41 (0,19–0,92)	0,45 (0,23–0,89)	0,44			
			3–10	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)				
			10–30	0,77 (0,49–1,23)	0,81 (0,49–1,35)	1,10 (0,69–1,76)				
			> 30	0,64 (0,32–1,29)	0,73 (0,36–1,48)	1,56 (0,74–3,26)				
			p für Trend	0,54	0,26	<b>0,008</b>				

Tabelle 17 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: Wirkungen auf die Entwicklung, epidemiologische Kohortenstudien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung e)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)	Andere Co-Expositionen/ Anpassungen	Anmerkungen
<b>23. Papadopoulou et al., 2017.</b> Norwegen, 1999–2008. Norwegische Mutter- und Kind-Kohortenstudie (MoBa).	45 389 Mutter-Kind-Paare (M und W), Teilnehmer der Studie MoBa, rekrutiert in der Mitte der Schwangerschaft. Informationen anhand von Fragebögen ermittelt.	Die Häufigkeit der Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mutter in der Frühschwangerschaft, ermittelt anhand eines Fragebogens, der in der 17. und 30. Schwangerschaftswoche ausgefüllt wurde.	Häufigkeit von Gesprächen mit dem Mobiltelefon: „selten/nie“ (keine Nutzung), „einige Male pro Woche“ (geringe Nutzung), „täglich“ (mittlere Nutzung) und „mehr als eine Stunde pro Tag“ (hohe Nutzung).	Sprach-, Kommunikations- und motorische Fähigkeiten des Kindes nach 3 (45 389 Mutter-Kind-Paare) und 5 Jahren (17 310 Mutter-Kind-Paare). Bereinigte OR und 95%-KI. aus logistischer Regression zur Schätzung der Zusammenhänge.	<b>Risiko für geringere Satzkomplexität nach 3 Jahren – Bereinigte OR (95%-KI)</b>	Parität, Alter der Mutter, Bildung und Jahr der Entbindung.	<b>Ausreichend/negativ</b>
			<i>Mobiltelefonnutzung durch die Mutter in der frühen Schwangerschaft</i>				



			Keine Nutzung	1 (Ref.)														
			Etwas Nutzung	0,83 (0,77–0,89)														
			Niedrig	0,87 (0,81–0,94)														
			Mittel	0,78 (0,72–0,84)														
			Hoch	0,71 (0,62–0,81)														
			p für Trend	< 0,001														
<p><b>24. Sudan et al., 2018.</b> Dänemark 1996–2002, Spanien 2003–2008, Südkorea 2006–2011. Daten aus 3 Geburtskohorten, Teil des Projekts Generalized EMF Research using Novel Methods (GERoNiMO).</p>	<p>3 089 Mutter-Kind-Paare, die an der Danish National Birth Cohort (DNBC) (n = 1 209), dem spanischen Projekt für Umwelt und Kinder (INMA) (n = 1 383) und der koreanischen Mothers and Children's Environmental Health Study (MOCEH) (n = 497) teilnahmen.</p>	<p>Mobiltelefonnutzung durch die Mutter während der Schwangerschaft, ermittelt während der Schwangerschaft (Spanien und Korea) oder 7 Jahren nach der Schwangerschaft (Dänemark).</p>	<p>Häufigkeit von Gesprächen mit dem Mobiltelefon: „selten/nie“ (keine Nutzung), „täglich“ (mittlere Nutzung) und „mehr als eine Stunde pro Tag“ (hohe Nutzung). In den DNBC-, ABCD- und INMA-Kohorten entsprach keine Exposition keiner Mobiltelefonnutzung, eine geringe Exposition ≤ 1 Anrufen/Tag, eine mittlere Exposition 2–3 Anrufen/Tag und eine hohe Exposition ≥ 4 Anrufen/Tag. In der MOCEH-Kohorte entsprach keine Exposition keiner Mobiltelefonnutzung, eine geringe Exposition ≤ 2 Anrufen/Tag, eine mittlere Exposition 3–5 Anrufen/Tag und eine hohe Exposition ≥ 6 Anrufen/Tag.</p>	<p>Kognitive Leistung von Kindern im Alter von 5 Jahren. Lineare Regression zur Berechnung der mittleren Differenzen (MD) und der 95%-Konfidenzintervalle (KI).</p>	<p><b>Allgemeine Kognition, bereinigte OR (95%-KI)</b></p>	<p><b>Sprachliche Kognition, bereinigte OR (95%-KI)</b></p>	<p><b>Nicht sprachliche Kognition, bereinigte OR (95%-KI)</b></p>	<p>Geschlecht des Kindes, Alter des Kindes, IQ der Mutter, Parität, psychische Belastung der Mutter in der Vergangenheit, Bildung der Mutter, Bildung des Vaters, Rauchen vor der Geburt, Alkoholkonsum vor der Geburt und BMI der Mutter vor der Schwangerschaft</p>	<p><b>Ausreichend/mehrdeutig</b></p>									
													Mobiltelefonnutzung durch die Mutter in der frühen Schwangerschaft					
													Keine Nutzung	0,78 (0,76–2,33)	1,42 (1,12–3,96)	0,72 (0,85–2,28)		
													Niedrig	1 (Ref.)	1 (Ref.)	1 (Ref.)		
			Mittel	0,11 (-0,81–1,03)	-0,23 (-1,29–0,83)	-0,12 (-1,60–1,35)												
			Hoch	0,41 (-1,54–0,73)	0,42 (-1,73–0,89)	-0,85 (-2,23–0,53)												

Tabelle 17 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: Wirkungen auf die Entwicklung, epidemiologische Kohortenstudien (450–6 000 MHz) (Fortsetzung f)

Studieninformationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)				Andere Co-Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen				
<b>25. Tsarna et al., 2019.</b> Dänemark 1996–2002, Spanien 2003–2008, Südkorea 2006–2011. Daten aus 3 Geburtskohorten, Teil des Projekts Generalized EMF Research using Novel Methods (GERoNiMO).	55 507 Mutter-Kind-Paare (M und W), die an der Danish National Birth Cohort (DNBC), dem spanischen Projekt für Umwelt und Kinder (INMA) und der koreanischen Mothers and Children's Environmental Health Study (MOCEH) teilnahmen.	Nutzung von Mobiltelefonen während der Schwangerschaft. Es wurden retrospektive Expositionsbewertungen (DNBC und ABCD) oder prospektive Expositionsbewertungen (INMA und MOCEH) herangezogen.	Die Exposition wurde auf der Grundlage der täglichen Häufigkeit von Mobiltelefonanrufen während der Schwangerschaft in 4 Kategorien (keine, geringe, mittlere und hohe Exposition) eingeteilt.	Früh-/Spätgeburt, fetales Wachstum (klein oder groß für das Schwangerschaftsalter). Modifizierte Wald-, Chi-Quadrat( $\chi^2$ )- und exakte Fisher-Tests. Die berechneten bereinigten kohortenspezifischen Schätzungen wurden mithilfe von Modellen mit zufälligen Effekten einer Metaanalyse unterzogen.	<b>Frühgeburt – Bereinigte OR (95%-KI)</b>	<b>Spätgeburt – Bereinigte OR (95%-KI)</b>	<b>SGA-Geburt (klein bezogen auf das Schwangerschaftsalter) – Bereinigte OR (95%-KI)</b>	<b>LGA-Geburt (groß bezogen auf das Schwangerschaftsalter) – Bereinigte OR (95%-KI)</b>	Alter der Mutter bei der Geburt des Kindes (ein natürlicher Spline-Term mit 3 Freiheitsgraden), Parität, aktives und passives Rauchen während der Schwangerschaft, Alkoholkonsum während der Schwangerschaft, Body-Mass-Index vor der Schwangerschaft.	Ausreichend/mehrdeutig				
					Keine	0,96 (0,86–1,07)	0,98 (0,89–1,07)	0,94 (0,86–1,03)			0,98 (0,92–1,04)			
					Niedrig	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)	1,00 (Ref.)			1,00 (Ref.)	Stress nicht als Störfaktor angesehen		
					Mittel	1,12 (0,97–1,28)	0,85 (0,75–0,97)	1,03 (0,88–1,21)			0,97 (0,89–1,05)			
					Hoch	1,28 (0,87–1,88)	0,98 (0,83–1,16)	0,94 (0,78–1,13)			0,93 (0,83–1,04)			
					p für Trend	<b>0,003</b>	0,863	0,872			0,488			
<b>26. Boileau et al., 2020.</b> Frankreich, in den Jahren 2014–2017 geborene Kinder. Prospektive, multizentrische beobachtende Längsschnitt-Kohortenstudie (NéHaVi-Kohorte)	1 378 Mutter-Kind-Paare (M und W). Fragebögen, die bei persönlichen Befragungen in der Zeit nach der Geburt während des Aufenthalts in der Entbindungsstation ausgefüllt wurden, sowie die Krankenakten des Kindes und der Eltern.	Nutzung von Mobiltelefonen während der Schwangerschaft. Es wurden retrospektive Expositionsbewertungen (DNBC und ABCD) oder prospektive Expositionsbewertungen (INMA und MOCEH) herangezogen.	Telefonzeit, erfasst in Minuten pro Tag.	Fetales Wachstum, bewertet anhand eines personalisierten AUDIPOG-Scores (Wachstumseinschränkung bei der Geburt, definiert durch einen AUDIPOG-Score $\leq$ 10. Perzentil bei der Geburt)	<b>AUDIPOG-Score <math>\leq</math> 10. Perzentil – Bereinigte OR (95%-KI)</b>	<b>p-Wert</b>			Sozioprofessionelle Variablen der Mutter, die wahrscheinlich die Telefonzeit, das Rauchen, den Alkoholkonsum, die Vorgeschichte von Diabetes oder Bluthochdruck, Schwangerschaftsdiabetes, Schwangerschaftshypertonie und mögliche Störfaktoren beeinflussen.	Ausreichend/positiv				
											Telefonzeit (Minuten/Tag)			
											0–5	1,00 (Ref.)		

			5-15		0,98 (0,58-1,65)	0,9423				
			15-30		1,68 (0,99-2,82)	0,0508				
			≥ 30		<b>1,54 (1,03-2,31)</b>	<b>0,0374</b>				

Tabelle 18 (zusammenfassende Tabellen 12–17) – Gesammelte Daten für epidemiologische Studien zu Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung (FR1: 450–6 000 MHz)

Studien insgesamt		26			
Ausreichende Studien		16			
Art der Studie	Beobachtete Wirkung	Ausreichende Studien insgesamt*	Positive Studien	Mehrdeutige Studien	Negative Studien
Fortpflanzungsfähigkeit – männliche Fertilität	Abnahme der Spermienqualität	6	6		
	Fehlgeburt	2	2		
Entwicklung – Auswirkungen auf Mütter und Nachkommen	Früh-/Spätgeburt, fetales Wachstum; Chromosomenanomalien	8	2	2	4
	Sprach-/Kommunikations-/Verhaltens-/kognitive Probleme	4		2	2

\*Einige der Studien umfassen mehr als einen Endpunkt.

### ZUSAMMENFASSUNG DER GESAMMELTEN DATEN FÜR EPIDEMIOLOGISCHE STUDIEN ZU DEN WIRKUNGEN AUF DIE FORTPFLANZUNGSFÄHIGKEIT/ENTWICKLUNG (FR1: 450 bis 6 000 MHz) (Tabelle 18)

Die epidemiologische Evidenz für mögliche Zusammenhänge zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung stammen aus Studien mit unterschiedlichem Design, die eine Reihe von Expositionsquellen untersucht haben: Die Populationen umfassten Personen mit Exposition am Arbeitsplatz, Personen, die durch Quellen in der allgemeinen Umwelt exponiert sind, z. B. Funkbasisstationen, und Personen, die durch die Nutzung von drahtlosen (mobilen und schnurlosen) Telefonen exponiert sind.

In Kapitel 4 (Beschränkungen) des vorliegenden Dokuments werden allgemeine methodische Bedenken im Zusammenhang mit der Bewertung einzelner Studien behandelt. Insgesamt wurden 26 epidemiologische Studien für die vorliegende Überprüfung von FR1 ausgewählt. Nach weiteren eingehenden Analysen der 26 Originalpapiere erwiesen sich 16 Studien auf der Grundlage der Expositionsbewertung, des Stichprobenumfangs und der Angemessenheit der Analysen von Störfaktoren als ausreichend.

In den 16 adäquaten Studien wurden eine Abnahme der Spermienqualität, das Risiko einer Fehlgeburt, eine Früh- oder Spätgeburt, das fetale Wachstum sowie Sprach-, Kommunikations-, Verhaltens- und kognitive Probleme auf einen möglichen Zusammenhang mit der Exposition gegenüber HF-EMF im Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen oder der Umweltexposition bzw. der Exposition am Arbeitsplatz gegenüber Aussendungen von Funkbasisstationen untersucht. Mit Bezug auf die Nummern, die den Studien in den jeweiligen Zusammenfassungen und Tabellen zugewiesen wurden, ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen den verschiedenen schädlichen Wirkungen und der HF-EMF-Exposition:

*Abnahme der Spermienqualität:* Von 6 ausreichenden Studien zu diesem Endpunkt zeigten alle einen positiven Zusammenhang mit HF-EMF-Exposition (Ref.: 2, 3, 5, 7, 11, 12).

*Fehlgeburt:* Beide der 2 ausreichenden Studien zu diesem Endpunkt zeigten einen positiven Zusammenhang mit HF-EMF-Exposition (Ref.: 13, 14).

*Früh-/Spätgeburt, fetales Wachstum:* Von 8 ausreichenden Studien zu diesen Endpunkten zeigten 2 einen positiven Zusammenhang mit HF-EMF-Exposition (Ref.: 15, 26), 2 mehrdeutige Zusammenhänge / Ref.: 24, 25) während 4 negativ waren (Ref.: 19, 20, 21, 23).

*Sprach-/Kommunikations-/Verhaltens-/kognitive Probleme:* Von 4 ausreichenden Studien zeigten 2 mehrdeutigen Evidenz für einen Zusammenhang mit HF-EMF-Exposition (Ref.: 20, 24), und 2 waren negativ (Ref.: 21, 23).

So können wir folgende Schlussfolgerung ziehen:

#### FR1: 450 bis 6 000 MHz:

Es liegt ausreichende Evidenz für schädliche Wirkungen auf die Fertilität von Männern vor.

Es liegt begrenzte Evidenz für schädliche Wirkungen auf die Fertilität von Frauen vor.

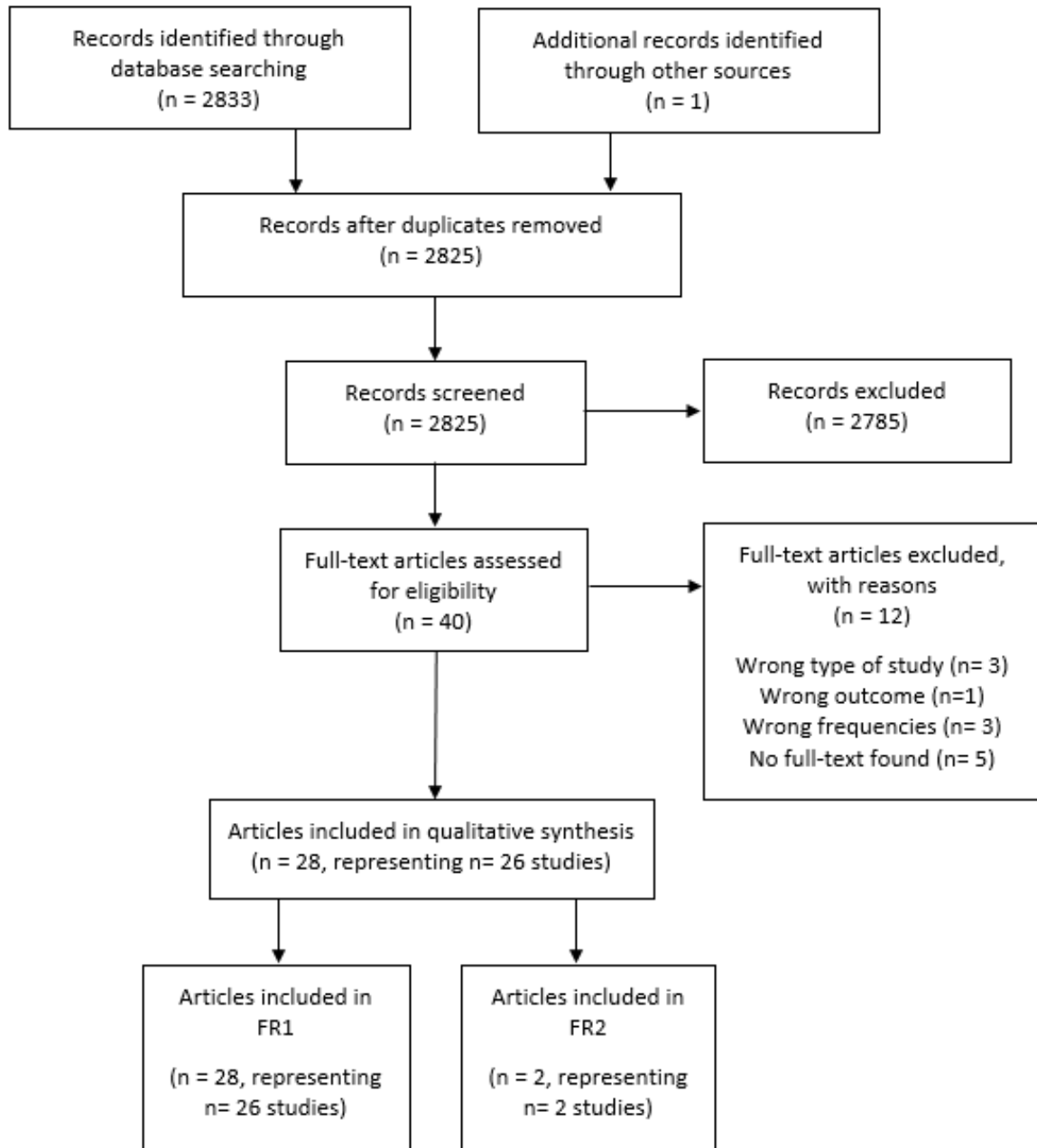
Es liegt begrenzte Evidenz für schädliche Wirkungen bei schwangeren Frauen und ihren Nachkommen hinsichtlich aller untersuchten entwicklungsbezogenen Endpunkte vor.

#### 4.2.2 Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung in epidemiologischen Studien: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW) untersuchen.

Durch die Datenbankrecherche und andere Quellen wurden 2 834 Artikel ermittelt. Nach Entfernung von Duplikaten (9) und Ausschluss nicht relevanter Artikel (2 785) auf der Grundlage des Titels und der Zusammenfassungen verblieben 40 Artikel. Auf der Grundlage eines Volltext-Screenings wurden 12 weitere Papiere ausgeschlossen, sodass es 28 veröffentlichte Artikel mit Frequenzen gab, die für die Aufnahme in diese qualitative Synthese geeignet waren, und zwar aus 26 entsprechenden Studien. Es wurden zwei Papiere veröffentlicht, die Informationen zu derselben Studie berichteten (Abb. 14).

In dieser Phase wurde außerdem eine Auswahl basierend auf dem Frequenzbereich vorgenommen: 28 Papiere/26 Studien bezogen sich auf Expositionen, die zum FR1-Bereich gehören, und 2 bezogen sich auch auf FR2. Diese Papiere berichteten über Expositionen, die sowohl für FR1 als auch für FR2 geeignet sind, sodass sie nicht zu der Gesamtzahl der eingeschlossenen Studien zählen; die Expositionen werden zweimal berichtet, und zwar einmal in jedem Frequenzbereich mit dem zugehörigen Endpunkt.

Abbildung 14 – Flussdiagramm. Epidemiologische Studien zu den Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung, FR2



## MÄNNLICHE FERTILITÄT

### Querschnittstudien (Tabellen 19, a,b)

#### 1. Baste et al., 2008.

Norwegen. 2002–2004. Fall-Kontroll-Studie, Exposition am Arbeitsplatz.

Die Autoren führten eine Querschnittsstudie unter beim Militär tätigen Männern durch, die bei der Königlich Norwegischen Marine beschäftigt waren. Dabei wurden Informationen über die Arbeit in der Nähe von Geräten, die hochfrequente elektromagnetische Felder ausstrahlen, über die Infertilität über einen 1-Jahres-Zeitraum, Kinder und das Geschlecht des Nachwuchses erhoben. Von den 10 497 Befragten hatten 22 % in „hohem“ oder „sehr hohem“ Ausmaß in der Nähe von Hochfrequenz-Antennen gearbeitet. Die Infertilität stieg mit zunehmender von den Befragten selbst berichteter Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern signifikant an. In einer logistischen Regression betrug die Odds-Ratio (OR) für Infertilität bei denjenigen, die in „sehr hohem Maße“ in einem Abstand von weniger als 10 m von Hochfrequenzantennen gearbeitet hatten, im Vergleich zu denjenigen, die angaben, nicht in der Nähe von Hochfrequenzantennen zu arbeiten, 1,86 (95%-Konfidenzintervall (KI): 1,46–2,37); dies war bereinigt um Alter, Rauchgewohnheiten, Alkoholkonsum sowie Exposition gegenüber organischen Lösungsmitteln, Umgebungen, in denen Schweißarbeiten durchgeführt werden, und Blei. Eine ähnliche bereinigte OR war für Personen zu verzeichnen, die in „hohem“, „mäßigem“ und „geringem“ Maße unter diesen Bedingungen arbeiteten, und zwar 1,93 (95%-KI: 1,55–2,40), 1,52 (95%-KI: 1,25–1,84), bzw. 1,39 (95%-KI: 1,15–1,68). In allen Altersgruppen gab es signifikante lineare Trends mit einer höheren Prävalenz ungewollter Kinderlosigkeit bei höherer von den Befragten selbst berichteter Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern. Es bestand jedoch kein Zusammenhang zwischen dem Maß der Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung und der Anzahl der Kinder. Für die von den Befragten selbst berichtete Exposition gegenüber Hochfrequenzantennen und -kommunikationsgeräten gab es signifikante lineare Trends mit einem niedrigeren Verhältnis von Jungen zu Mädchen bei der Geburt, wenn der Vater ein höheres Maß an Exposition gegenüber hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung angab.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Expositionshöhe. Ein höheres Maß an HF-EMF-Exposition ist mit Infertilität und einem niedrigeren Verhältnis von Jungen zu Mädchen bei der Geburt assoziiert.**

#### 2. Mollerleken und Moen, 2008.

Norwegen. 2002. Fall-Kontroll-Studie, Exposition am Arbeitsplatz.

Das Ziel dieser Studie war es, den Zusammenhang zwischen der Exposition von Arbeitern gegenüber elektromagnetischen Feldern und ihrer Fortpflanzungsgesundheit zu untersuchen. Wir ermittelten die Daten mithilfe eines Fragebogens im Rahmen einer Querschnittsstudie unter männlichen Marinesoldaten; die Antwortrate betrug 63 % (n = 1487). Die Befragten wurden zu Exposition, Lebensweise, Fortpflanzungsgesundheit, früheren Krankheiten, Arbeit und Bildung befragt. Eine Expertengruppe führte eine Kategorisierung der Arbeitskategorien im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern durch. Wir kategorisierten die Arbeitskategorien „(Tele-)Kommunikation“, „Elektronik“ und „Radar/Sonar“ als gegenüber elektromagnetischen Feldern exponiert. Die logistische Regression, bereinigt um Alter, Rauchen, militärische Ausbildung und körperliche Aktivität bei der Arbeit, ergab ein erhöhtes Risiko für Infertilität hinsichtlich der Odds-Ratio für „(Tele-)Kommunikation“ (OR ≤ 1,72, 95%-Konfidenzintervall 1,04–2,85) und der Odds-Ratio für „Radar/Sonar“ (OR ≤ 2,28, 95%-Konfidenzintervall 1,27–4,09). Die „Elektronik“-Gruppe wies kein erhöhtes Risiko auf. Diese Studie zeigt einen möglichen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern bei der Arbeit mit Hochfrequenzgeräten und Radar und einer verminderten Fertilität. Die Ergebnisse sind allerdings mit Vorsicht zu interpretieren.

**Anmerkung: Von den Befragten selbst berichtete Exposition. Möglicherweise erhöhtes Unfruchtbarkeitsrisiko bei Bedienern von Telekommunikationsanlagen und Radar/Sonar.**



Tabelle 19 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: männliche Fertilität, epidemiologische Fall-Kontroll-Studien (24–100 GHz) (a)

Studien- informationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95-%-KI)		Andere Co- Expositionen/Anpassungen	Anmerkungen		
					Gesamt-Infertilität – < 5 m von Radar, OR (95-%-KI)	Test für linearen Trend (Mantel- Haenszel-Chi- Quadrat)				
<b>1. Baste et al, 2008.</b> Norwegen. 2002–2004. Fall- Kontroll-Studie.	9 925 derzeitige und ehemalige männliche Angehörige des Militärs (der Königlich Norwegischen Marine), definiert durch die Militärbeschäftigungsliste (M); mittleres Alter 49.	Hochfrequenzantennen, Kommunikationsgeräte, Radar. Von den Befragten selbst eingeschätzte Exposition am Arbeitsplatz und Alterskategorien, die per postalischem Fragebogen ermittelt wurden.	Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern: Arbeit näher als 10 m an Hochfrequenzantennen, näher als 3 m an Kommunikationsgeräten und näher als 5 m an Radargeräten.	Infertilität. Odds-Ratios und 95-%-KI aus angepassten logistischen Regressionsmodellen; Mantel-Haenszel-Test für linearen Trend.	<b>Gesamt-Infertilität – &lt; 5 m von Radar, OR (95-%-KI)</b>	<b>Test für linearen Trend (Mantel- Haenszel-Chi- Quadrat)</b>	Infertilität. Odds-Ratios und 95-%-KI aus angepassten logistischen Regressionsmodellen; Mantel-Haenszel-Test für linearen Trend.	<b>Ausreichend/ Positiv für männliche Infertilität</b>		
			Alter < 29							
			Nicht exponiert							
			Niedrig						1,00 (Ref.)	0,001
			Mäßig						0,87 (0,25–2,99)	
			Hoch						2,13 (0,64–7,06)	
			Sehr hoch						1,11 (0,20–6,00)	
			Alter 30–39						5,09 (1,59–16,30)	
			Nicht exponiert							
			Niedrig						1,00 (Ref.)	0,005
			Mäßig						1,46 (0,99–2,15)	
			Hoch						1,32 (0,87–2,02)	
			Sehr hoch						1,79 (1,14–2,82)	
			Alter 40–49						1,91 (1,19–3,07)	
			Nicht exponiert							
			Niedrig						1,00 (Ref.)	0,002
			Mäßig						1,22 (0,87–1,71)	
			Hoch						1,24 (0,87–1,79)	
			Sehr hoch						1,59 (1,05–2,41)	
			Alter > 50						1,50 (0,95–2,35)	
Nicht exponiert										
Niedrig	1,00 (Ref.)	0,001								
Mäßig	1,11 (0,84–1,46)									
Hoch	1,58 (1,20–2,09)									
Sehr hoch	1,39 (0,98–1,97)									

Tabelle 19 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen: männliche Fertilität, epidemiologische Fall-Kontroll-Studien (24–100 GHz) (Fortsetzung b)

Studien- informationen	Population	Art der Exposition und Bewertungsmethode	Expositionskategorie oder -höhe	Gesundheitliches Ergebnis und Messgröße	Risikoabschätzung (95%-KI)					Andere Co- Expositionen/ Anpassungen	Anmerkungen
					Infertilität - % (p-Wert aus Chi-Quadrat- Tests)	Biologische Kinder haben - % (p-Wert aus Chi- Quadrat- Tests)	Kinder mit Anomalien oder Chromosomenfehlern - % (p- Wert aus Chi- Quadrat- oder exakten Fisher- Tests)	Frühgeborene Kinder - % (p- Wert aus Chi- Quadrat- oder exakten Fisher-Tests)	Totgeburten oder Tod von Säuglingen innerhalb 1 Jahres - % (p-Wert aus exakten Fisher-Tests)		
2. Møllerløkken et al., 2008. Norwegen. 2002. Fall-Kontroll- Studie.	2 265 (M) Angestellte, die zum entsprechenden Zeitpunkt in der Marine dienten, sowohl Militärs als auch Zivilisten. Mittleres Alter 36 Jahre, Bereich 20–62.	Exposition am Arbeitsplatz durch militärische Kommunikations geräte. Informationen zum beruflichen Werdegang aus postalisch eingereichtem Fragebogen. Eine Expertengruppe führte bestimmte die Arbeitskategorien im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern.	Arbeiter in den Kategorien Radar/Sonar, (Tele)- Kommunikation, Elektronik und sonstigen Kategorien (unexponiert).	Infertilität, biologische Kinder, Anomalien, Chromosomenfehler, Früh- und Totgeburten oder Tod von Säuglingen. Inzidenz des Ergebnisses nach Expositionsgruppe (%); Chi-Quadrat- oder exakte Fisher- Tests zur Beurteilung der Signifikanz der Unterschiede zwischen den Gruppen.						Alter, jemals geraucht, militärische Ausbildung und körperliche Aktivität bei der Arbeit.	<b>Ausreichend/ Positiv für männliche Infertilität und Entwicklungsparameter bei den Nachkommen</b>
			Sonstige Berufe (unexponierte Gruppe)		8,6	62,0	3,5	7,9	2,3		
			Arbeiter im Bereich Radar/Sonar (Radar)		<b>17,5 (&lt; 0,01)</b>	70,4 (0,10)	7,1 (0,11)	9,1 (0,37)	2,0 (0,61)		

Tabelle 20 (zusammenfassende Tabellen 19 a,b) – Gesammelte Daten für epidemiologische Studien zu Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung (FR2: 24–100 GHz).

Studien insgesamt*		2			
Ausreichende Studien		2			
Art der Studie	Beobachtete Wirkung	Ausreichende Studien insgesamt	Positive Ergebnisse	Negative Ergebnisse	Mehrdeutige Ergebnisse
Fortpflanzungsfähigkeit – männliche Fertilität	Abnahme der Spermienqualität	2	2		
Entwicklungsparameter	Kinder: Frühgeburt; Chromosomenanomalien	1	1		

Die epidemiologische Evidenz für mögliche Zusammenhänge zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung stammen aus Studien mit unterschiedlichem Design, die eine Reihe von Expositionsquellen untersucht haben. Zu den untersuchten Populationen für FR2 gehören Personen, die im beruflichen Umfeld exponiert sind, insbesondere Angehörige des Militärs.

In Kapitel 4 (Beschränkungen) des vorliegenden Dokuments werden allgemeine methodische Bedenken im Zusammenhang mit der Bewertung einzelner Studien behandelt. Insgesamt wurden 2 epidemiologische Studien bis zum Jahr 2020 für die vorliegende Überprüfung von FR2 ausgewählt, die beide als ausreichend erachtet werden.

## ZUSAMMENFASSUNG DER GESAMMELTEN DATEN FÜR EPIDEMIOLOGISCHE STUDIEN ZU DEN WIRKUNGEN AUF DIE FORTPFLANZUNGSFÄHIGKEIT/ENTWICKLUNG (FR2: 24–100 GHz) (Tabelle 20)

### FR2 (24–100 GHz)

Die beiden analysierten Studien zu FR2 weisen Einschränkungen bei der Expositionsbewertung auf, sodass die tatsächlichen HF-/EMF-Expositionswerte ungewiss sind. Beide Studien zeigen jedoch *ausreichende* Evidenz für schädliche Wirkungen auf die männliche Fertilität (Ref.: 1, 2).

In einer der Studien zeigt sich *begrenzte Evidenz* für entwicklungsbezogene Wirkungen bei Nachkommen exponierter Angehöriger des Militärs (Ref.: 2).

Aufgrund der geringen Anzahl verfügbarer adäquater Studien und der Ungewissheit über die Expositionsbewertung ist es jedoch anhand dieser Ergebnisse nicht möglich, einen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber FR2 und den Ergebnissen der Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung zu bestätigen oder zu negieren (*nicht einstuftbar*).

#### 4.2.3 Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF im niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6 000 MHz) untersuchen, was auch die Frequenzen einschließt, die in den Breitband-Mobilfunknetzen früherer Generationen (1G, 2G, 3G, 4G) genutzt werden.

Durch die Datenbankrecherche und andere Quellen wurden 5 052 Artikel ermittelt. Nach Entfernung von Duplikaten (77) und Ausschluss nicht relevanter Artikel (4 886) auf der Grundlage des Titels und der Zusammenfassungen verblieben 89 Artikel. Auf der Grundlage eines Volltext-Screenings wurden 43 weitere Papiere ausgeschlossen, sodass es 46 veröffentlichte Artikel mit geeigneten Frequenzen für die Aufnahme in diese qualitative Synthese gab, und zwar aus 39 entsprechenden Studien. In drei Fällen wurde mehr als ein Artikel veröffentlicht, der Informationen über dieselbe Studie für verschiedene Endpunkte bezüglich der Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung enthielt (Abb. 15).

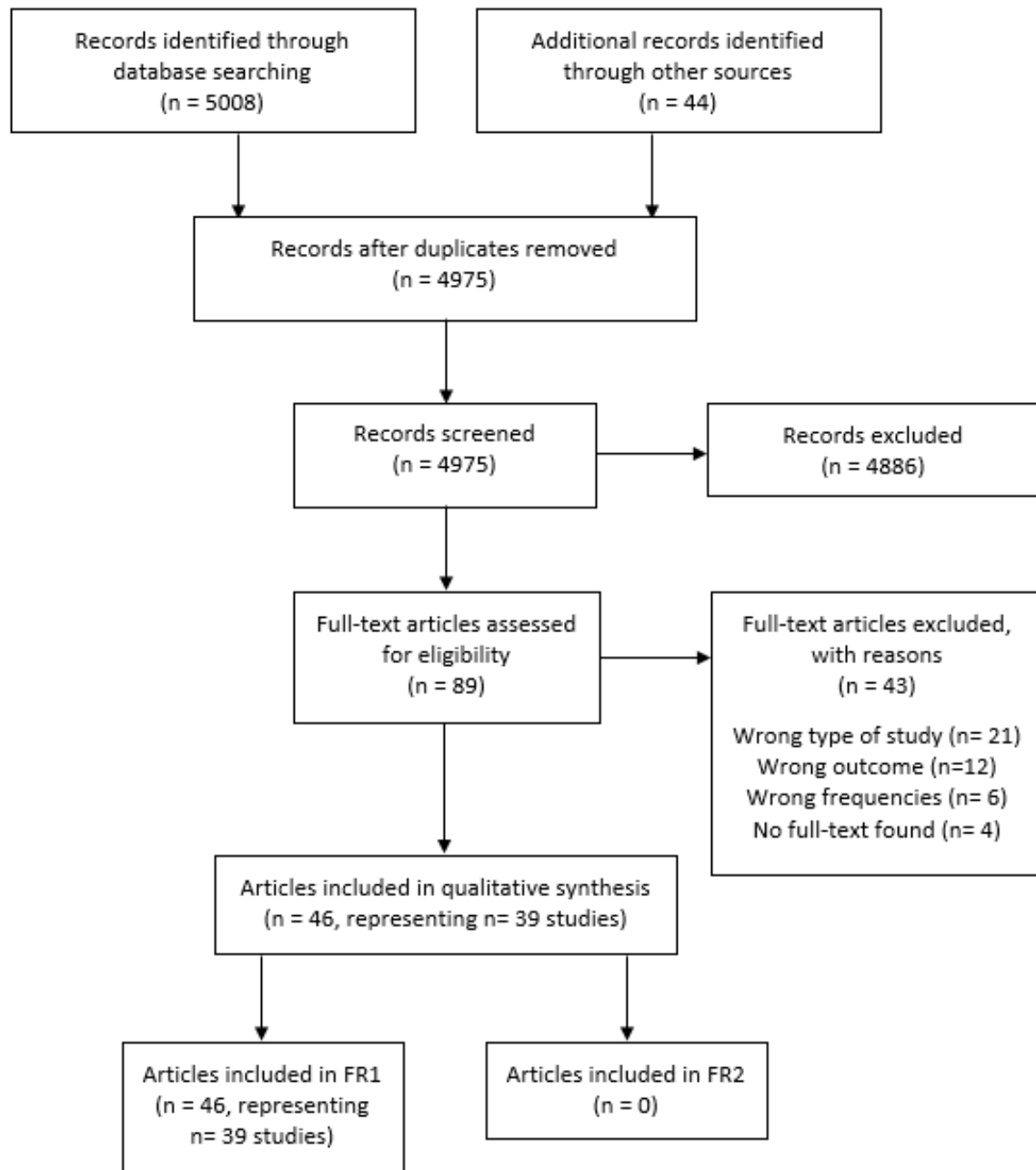
In dieser Phase wurde außerdem eine Auswahl basierend auf dem Frequenzbereich vorgenommen: von 46 Arbeiten/39 Studien berichteten alle über Expositionen im FR1-Bereich und keine über Expositionen im FR2-Bereich.

Eine weitere Auswahl gründete auf den Richtlinien NTP Modified One Generation Study und OECD 443 aus dem Jahr 2014 (Foster et al., 2014), die weltweit als Goldstandard für die Planung, Durchführung und Überwachung experimenteller Bioassays an Tieren (Nagetieren) anerkannt sind und deren Ziel es ist, Auswirkungen auf Entwicklungspathologie, endokrine Disruptoren, weibliche Fortpflanzung, männliche Fortpflanzung und Auswirkungen auf das Fortpflanzungssystem zu ermitteln.

Das Design für die Leitlinien-Studie sieht mindestens 10 Tiere pro Geschlecht und Gruppe vor, um statistisch belastbare Ergebnisse zu erhalten. Gemäß dieser Annahme wurden die Arbeiten nach Art der Studie aufgeteilt, d. h. männliche Fortpflanzung, weibliche Fortpflanzung und Entwicklungspathologie.

Für jede Studie wird eine Zusammenfassung und eine Tabelle mit den relevantesten Informationen angegeben; ein anerkannter Experte hat ihre Eignung für die Bewertung von Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit und Entwicklung (ausreichend/unzureichend) beurteilt und eine Gesamtsynthese der Ergebnisse (positiv/negativ/mehrdeutig) gemäß den im Abschnitt zur Methodik beschriebenen Kriterien abgegeben.

Abbildung 15 – Flussdiagramm. Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren, FR1



## REPRODUKTIONSTOXIZITÄT

**Männliche Mäuse (Tabellen 21, a,b)****1. Mugunthan et al., 2012.**

Indien. Mäuse. Reproduktionstoxizität.

Mäuse (n = 18) wurden über einen Zeitraum von 30 bis 180 Tagen täglich 48 Minuten lang ultrahochfrequenter 2G-Strahlung ausgesetzt. Die Stärke des elektromagnetischen Feldes (EMF) wurde mit einem Strahlungsfrequenzmesser berechnet. Achtzehn Mäuse wurden einer Strahlung mit einer Frequenz von 900–1900 MHz ausgesetzt, die von einem 2G-Mobiltelefon ausgesendet wurde, und achtzehn Mäuse dienten als Scheinkontrolle. Die Scheinkontroll-Mäuse (n = 18) wurden den gleichen Bedingungen ohne 2G-Exposition ausgesetzt. Das Gewicht jedes Tieres wurde vor der Tötung ermittelt. Jeweils drei Tiere wurden am Ende der 30-, 60-, 90-, 120-, 150- und 180-tägigen Exposition in der experimentellen nach 24 Stunden der letzten Exposition getötet. Im selben Zeitraum wurde die gleiche Anzahl von Kontrolltieren getötet. Wir entnahmen Blutproben, um den Testosteronspiegel im Plasma zu messen. Wir maßen und analysierten Größe, Gewicht und Volumen der Hoden. Die Hodenschnitte wurden unter einem Lichtmikroskop auf strukturelle Veränderungen untersucht. Ergebnisse: In 2G-exponierten Gruppewar das Gewicht der Tiere im ersten, zweiten und vierten Monat niedriger (p-Wert  $\leq 0,05$ ). Das mittlere Hodengewicht der 2G-exponierten Mäuse war in allen Monaten außer im vierten Monat signifikant reduziert (p-Wert  $< 0,05$ ), und das mittlere Hodenvolumen war in den ersten drei Monaten signifikant reduziert (p-Wert  $0,02$ ). Die mittlere Dichte der Samenkanälchen pro Flächeneinheit war in den 2G-exponierten Hoden signifikant niedriger (p-Wert  $< 0,001$ ). Der mittlere Durchmesser der Samenkanälchen war in den 2G-exponierten Hoden signifikant reduziert (p-Wert ist hoch signifikant  $< 0,001$ ), außer im zweiten Monat. Die durchschnittliche Anzahl der Sertoli- und Leydig-Zellen war bei den 2G-exponierten Mäusen signifikant reduziert (p-Wert ist hoch signifikant  $< 0,001$ ). Verglichen mit der Kontrollgruppe war der mittlere Serum-Testosteron-Spiegel der 2G-exponierten Mäuse signifikant niedriger (p-Wert  $0,004$ ). Die folgenden mikroskopischen Veränderungen wurden in den Hoden von Mäusen gefunden, die 2G-Mobilfunkstrahlung ausgesetzt waren. 1. Das Interstitium erschien breit 2. Die Sertoli-Zellen und die Spermatogonien lagen nicht an der Basallamina an. 3. Vakuoläre Degeneration und Desquamation des Samenepithels. Die meisten der peripheren Kanälchen zeigten einen Maturationsarrest in der Spermatogenese. Die Samenkanälchen erreichten einen Punktwert zwischen 8 und 9 im Johnson-Score für Hodenbiopsien. Die chronische Exposition gegenüber ultrahochfrequenter Strahlung, die von einem 2G-Mobiltelefon ausgesendet wird, könnte mikroskopische Veränderungen in den Samenkanälchen, eine Verringerung der Anzahl der Sertoli- und Leydig-Zellen und einen verringerten Serumtestosteronspiegel verursachen. Die langfristige Nutzung von Mobiltelefonen könnte männliche Infertilität verursachen.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.****2. Shahin et al., 2014.**

Indien. Schweizer Mäuse (M). Reproduktionstoxizität.

Zwölf Wochen alte Mäuse wurden einer nichtthermischen schwachen 2,45-GHz-MW-Strahlung ausgesetzt (CW für 2 h/Tag über einen Zeitraum von 30 Tagen, Leistungsdichte =  $0,029812 \text{ mW/cm}^2$  und SAR =  $0,018 \text{ W/kg}$ ). Es wurden ein Test der Zahl und Lebensfähigkeit der Spermien durchgeführt und alle lebenswichtigen Organe verarbeitet, um verschiedene Stressparameter zu untersuchen. Es wurden das Plasma für einen Testosteron- und die Hoden für einen 3 $\beta$ -HSD-Assay verwendet. Außerdem wurde in den Hoden eine Immunhistochemie von 3 $\beta$ -HSD und Stickstoffmonoxid-Synthase (i-NOS) durchgeführt. Wir beobachteten, dass eine MW-Bestrahlung zu einer signifikanten Abnahme der Spermienzahl und der Lebensfähigkeit der Spermien führte, zusammen mit einer Abnahme des Durchmessers der Samenkanälchen und einer Degeneration derselben. In der exponierten Gruppe von Mäusen wurde außerdem eine Reduktion der 3 $\beta$ -HSD-Aktivität der Hoden und der Plasmatestosteronspiegel festgestellt. In der mit MW bestrahlten Gruppe von Mäusen wurde eine höhere Expression von i-NOS in den Hoden beobachtet. Diese schädlichen Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit deuten darauf hin, dass eine

chronische Exposition gegenüber nichtionisierender MW-Strahlung über einen durch freie Radikale vermittelten Weg zu Infertilität führen kann.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**



### 3. Zhu et al., 2015.

USA. ICR-Mäuse (M, spezifiziert pathogenfrei [SPF]). Reproduktionstoxizität.

Erwachsene männliche ICR-Mäuse wurden gegenüber kontinuierlichen 900-MHz-Hochfrequenzfeldern (HF) exponiert. Nach einer 7-tägigen Quarantänezeit wurden die Tiere gewogen ( $20 \pm 2$  g) und nach dem Zufallsprinzip in drei getrennte Gruppen von jeweils 10 Mäusen für verschiedene Expositionen eingeteilt (randomisiert). a. Kontinuierliche 900-MHz-HF-Bestrahlung mit einer Intensität von  $1,6 \text{ mW/cm}^2$ , 4 Stunden/Tag über einen Zeitraum von 15 Tagen. b. Scheinexposition ohne HF-Übertragung (Mäuse der Kontrollgruppe). c. Eine akute Dosis von 2 Gy  $\gamma$ -Strahlung (GR, Positivkontrollen). Am Ende der Exposition wurde jede Maus zu Paarungszwecken mit 3 geschlechtsreifen jungfräulichen weiblichen Mäusen in einem Käfig untergebracht. Nach 7 Tagen wurde jede männliche Maus in einen neuen Käfig verlegt und mit einer zweiten Gruppe von 3 Weibchen verpaart. Dieses Verfahren wurde in insgesamt über 4 aufeinanderfolgende Wochen hinweg wiederholt. Scheinexponierte männliche Mäuse und solche, die einer akuten 2-Gy-Bestrahlung (GR) ausgesetzt waren, wurden ähnlich behandelt und als nicht exponierte bzw. positive Kontrollen verwendet. Alle Weibchen wurden am 18. Tag der Trächtigkeit und der vermuteten Paarung getötet, und der Inhalt ihrer Gebärmutter wurde untersucht. Die insgesamt angestellten Beobachtungen während der vierwöchigen Paarung zeigten, dass die nichtexponierten weiblichen Mäuse, die mit HF-exponierten männlichen Mäusen gepaart wurden, keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Prozentsatzes der Trächtigkeiten, der Gesamtanzahl der Einnistungen, der lebenden Einnistungen und der toten Einnistungen im Vergleich zu den Mäusen zeigten, die mit scheinexponierten Mäusen gepaart wurden. Im Gegensatz dazu zeigten weibliche Mäuse, die mit GR-exponierten Männchen gepaart wurden, ein konsistentes Muster signifikanter Unterschiede bei den oben genannten Indizes in jeder einzelnen der 4 Paarungswochen. Somit deuteten die Daten darauf hin, dass die HF-Exposition in den Keimzellen männlicher Mäuse kein mutagenes Potenzial hat.

**Anmerkung: Ausreichend/negativ.**

### 4. Pandey et al., 2017.

Indien. Schweizer Mäuse (M). Reproduktionstoxizität.

Schweizer Albino-Mäuse wurden 35 Tage lang täglich 4 Stunden und 8 Stunden lang HFS (900 MHz) ausgesetzt. Eine Gruppe von Tieren wurde nach dem Expositionszeitraum getötet, während die anderen nach der Exposition weitere 35 Tage lang gehalten wurden. Die HFS-Exposition verursachte eine Depolarisierung der mitochondrialen Membranen, was zu einer Destabilisierung der zellulären Redox-Homöostase führte. Bei den HFS-exponierten Tieren wurde ein statistisch signifikanter Anstieg des Schadensindexes in den Keimzellen und Defekte am Spermienkopf festgestellt. Die durchflusszytometrische Bestimmung der Keimzellsubtypen in den Hoden von Mäusen ergab eine 2,5-fache Zunahme der Spermatogonienpopulationen und eine deutliche Reduktion der Spermatozoen. Es wurde eine nahezu vierfache Verringerung der Reifung von Spermatogonien zu Spermatozoen (1C:2C) und eine dreifache Verringerung der Reifung von primären Spermatozyten zu Spermatozoen (1C:4C) festgestellt, was auf einen Arrest im prämeiotischen Stadium der Spermatogenese hindeutet, der zu einem Verlust von postmeiotischen Keimzellen führte; dies war in der Hodenhistologie und an einer niedrigen Spermienzahl bei HFS-exponierten Tieren erkennbar. Auch histologische Veränderungen wie das Ablösen unreifer Keimzellen in das Lumen der Samenkanälchen, Epithelschwund und ein Maturationsarrest wurden beobachtet. Alle diese Veränderungen erholten sich jedoch in unterschiedlichem Ausmaß nach dem Postexpositionszeitraum, was darauf hindeutet, dass die Nebenwirkungen von HFS auf die Keimzellen von Mäusen zwar schädlich, aber reversibel sind. So lässt sich schlussfolgern, dass durch HFS-Exposition induzierter oxidativer Stress DNA-Schäden in Keimzellen verursacht, die die Zellzyklusprogression verändern und zu einer niedrigen Spermienzahl bei Mäusen führen.

**Anmerkung: ausreichend/positiv.**

#### 5. Pandey et al., 2018.

Indien. Schweizer Mäuse (M). Reproduktionstoxizität.

Die vorliegende Studie untersuchte die Auswirkungen von HFS vom Global System for Mobile communications(GSM)-Typ bei 900 MHz und Melatonin-Supplementierung auf die Keimzellenentwicklung während der Spermatogenese. Schweizer Albino-Mäuse wurden in vier Gruppen aufgeteilt. Eine Gruppe wurde 35 Tage lang zweimal täglich 3 Stunden lang HFS ausgesetzt, die andere Gruppe erhielt die gleiche Exposition, aber mit Melatonin (N-Acetyl-5-Methoxytryptamin) (MEL; 5 mg/kg Körpergewicht/Tag). Zwei andere Gruppen erhielten nur MEL oder wurden nicht exponiert. Ausgewertet wurden Anomalien des Spermienkopfes, die Gesamtspermienzahl, ein biochemischer Assay der Lipidperoxide, des reduzierten Glutathions sowie Aktivität der Superoxiddismutase und die Histologie der Hoden. Zusätzlich wurden in den Hoden eine durchflusszytometrische Auswertung der Keimzellsotypen und ein Comet-Assay durchgeführt. In den Keimzellen der HFS-exponierten Tiere wurden umfangreiche DNA-Schäden sowie ein Arrest in den prämeiotischen Stadien der Spermatogenese beobachtet, was schließlich zu einer niedrigen Spermienzahl und Anomalien des Spermienkopfes führte. Darüber hinaus zeigten biochemische Assays eine übermäßige Bildung von freien Radikalen, die zu histologischen und morphologischen Veränderungen in den Hoden bzw. bei der Keimzellenmorphologie führten. Diese Effekte waren jedoch bei den mit Melatonin supplementierten, HFS-exponierten Tieren entweder vermindert oder nicht vorhanden. Somit lässt sich folgern, dass Melatonin den prämeiotischen Spermatogenese-Arrest in männlichen Keimzellen durch sein antioxidatives Potenzial und seine Fähigkeit, die DNA-Reparaturwege zu verbessern, hemmt, was zu einer normalen Spermienzahl und Spermienmorphologie bei HFS-exponierten Tieren führt.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv (ohne Melatoninsupplementierung behandelte Gruppe)**

#### 6. Shahin et al., 2018.

Indien. Schweizer Mäuse. Reproduktionstoxizität.

Ziel der vorliegenden Studie war es, den zugrunde liegenden detaillierten Weg der Apoptose in den Hoden zu untersuchen, die durch die Belastung mit freien Radikalen und das Redox-Ungleichgewicht aufgrund der Exposition gegenüber einer MW-Strahlung von 2,45 GHz induziert wird, sowie den Schweregrad zusammen mit der erhöhten Expositionsdauer. Zwölf Wochen alte männliche Mäuse wurden bei einer MW-Strahlung von 2,45 GHz [kontinuierliche Welle (CW) mit einer durchschnittlichen Gesamtleistungsdichte von 0,0248 mW/cm<sup>2</sup> und einem durchschnittlichen Ganzkörper-SAR-Wert von 0,0146 W/kg] für 2 Stunden/Tag über einen Zeitraum von 15, 30 und 60 Tagen exponiert. Hodenhistologie, Serumtestosteron, ROS, NO, MDA-Spiegel, Aktivität der antioxidativen Enzyme sowie Expression von pro-apoptotischen Proteinen (p53 und Bax), anti-apoptotischen Proteinen (Bcl-2 und Bcl-xL), Cytochrom c, inaktiver/aktiver Caspase-3 und ungespaltenem PARP-1 wurden bewertet. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Exposition gegenüber MW-Strahlung mit 2,45 GHz, die ein Redox-Ungleichgewicht in den Hoden hervorruft, nicht nur zu einer verstärkten Apoptose in den Hoden über den p53-abhängigen Bax-Caspase-3-vermittelten Weg führt, sondern auch den Schweregrad der Apoptose in einer von der Dauer abhängigen Weise erhöht.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**

#### Weibliche Mäuse (Tabelle 22, a)

#### 7. Gul et al., 2009.

Türkei. Ratten (W). Reproduktionstoxizität.

Ziel dieser Studie war es, zu untersuchen, ob Mikrowellen von Mobiltelefonen toxische Wirkungen auf die Eierstöcke von Ratten haben. In dieser Studie wurden 82 weibliche Rattenjunge im Alter von 21 Tagen (43 in der Studiengruppe und 39 in der Kontrollgruppe) verwendet. Die trächtigen Ratten der Studiengruppe wurden während der gesamten Trächtigkeit dem Einfluss von Mobiltelefonen ausgesetzt, die unter den Polypropylenkäfigen angebracht waren. Der Käfig enthielt keinerlei Materialien, die elektromagnetische

Felder beeinflussen könnten. Ein Mobiltelefon, das sich 11 Stunden und 45 Minuten lang im Standby-Modus befand, wurde alle 12 Stunden für 15 Minuten in den Sprechmodus geschaltet und der Akku wurde kontinuierlich geladen. Am 21. Tag nach der Geburt wurden die weiblichen Rattenjungen getötet und die rechten Eierstöcke entfernt. Die Volumina der Eierstöcke wurden gemessen und die Follikel in jedem zehnten Schnitt wurden gezählt. Die Analyse zeigte, dass die Zahl der Follikel in der Studiengruppe geringer war als in der Kontrollgruppe. Die verringerte Anzahl von Follikeln bei Jungtieren, die den Mikrowellen von Mobiltelefonen ausgesetzt waren, legt die Vermutung nahe, dass die intrauterine Exposition toxische Wirkungen auf die Eierstöcke hat. Wir vermuten, dass die Mikrowellen von Mobiltelefonen die Zahl der Follikel bei Ratten durch mehrere bekannte und zweifellos unzählige unbekannte Mechanismen reduzieren könnten.

**Anmerkung: Ausreichend/mehrdeutig.**

8. [Shahin et al., 2017.](#)

Indien. Schweizer Mäuse (W). Reproduktionstoxizität.

In der vorliegenden Studie wurden die langfristigen Auswirkungen von Mobiltelefonstrahlung (1 800 MHz) im Stand-by-, Wähl- und Empfangsmodus auf die weibliche Fortpflanzungsfunktion (Histoarchitektur der Eierstöcke und der Gebärmutter und Steroidogenese) und Stressreaktionen (oxidativer und nitrosativer Stress) untersucht. Wir stellten fest, dass die von Mobiltelefonen ausgehende Strahlung einen signifikanten Anstieg von ROS, NO, Lipidperoxidation, Gesamtcarbonylgehalt und Serumcorticosteron in Verbindung mit einer signifikanten Abnahme der antioxidativen Enzyme in Hypothalamus, Eierstöcken und Uterus von Mäusen bewirkt. Verglichen mit der Kontrollgruppe wiesen die exponierten Mäuse eine geringere Anzahl an sich entwickelnden und reifen Follikeln sowie an Gelbkörpern auf. Signifikant verringerte Serumgehalte von hypophysären Gonadotropinen (LH, FSH), Sexualsteroiden (E2 und P4) und die Expression von SF-1, StAR, P-450scc, 3beta-HSD, 17beta-HSD, Cytochrom-P450-Aromatase, ER-alpha und ER-beta wurden in allen exponierten Gruppen von Mäusen im Vergleich zur Kontrolle beobachtet. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass von Mobiltelefonen ausgehende Strahlung oxidativen und nitrosativen Stress induziert, der die Reproduktionsleistung weiblicher Mäuse beeinträchtigt.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**

**Männliche Ratten (Tabellen 23, a-c)**

9. [Ozguner et al., 2005.](#)

China. Sprague-Dawley-Ratten (M). Reproduktionstoxizität.

Ziel dieser experimentellen Studie war es, die biologischen und morphologischen Wirkungen von Hochfrequenz(HF)-EMF mit 900 MHz auf Rattenhoden zu bestimmen. Die Studie wurde im Mai 2004 in den Physiologie- und Histologie-Forschungslabors der Süleyman-Demirel-Universität, Medizinische Fakultät, Isparta, Türkei, durchgeführt. Zwanzig erwachsene männliche Sprague-Dawley-Ratten mit einem Gewicht von 270–320 g wurden nach dem Zufallsprinzip in 2 Gruppen zu je 10 Tieren eingeteilt (randomisiert): Gruppe I (Kontrollgruppe) wurde nicht gegenüber EMF exponiert und Gruppe II (EMF-Gruppe) wurde 4 Wochen lang 30 Minuten pro Tag, 5 Tage pro Woche gegenüber EMF mit 900 MHz exponiert. Es wurden Hodengewebeschnitte zur histologischen und morphologischen Untersuchung vorgelegt. Der Hodenbiopsie-Score (Punktwert) und der prozentuale Anteil von interstitiellem Gewebe am gesamten Hodengewebe wurden erfasst. Der Serumtestosteronspiegel sowie der Plasmaspiegel des luteinisierenden Hormons (LH) und des follikelstimulierenden Hormons (FSH) wurden biochemisch bestimmt. Ergebnisse: Das Gewicht der Hoden, der Hodenbiopsie-Score und der prozentuale Anteil des interstitiellen Gewebes am gesamten Hodengewebe waren in der EMF-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe nicht signifikant unterschiedlich. Der Durchmesser der Samenkanälchen und die mittlere Höhe des Keimepithels waren jedoch in der EMF-Gruppe signifikant geringer ( $p < 0,05$ ). In der EMF-Gruppe fand ein signifikanter Rückgang des Gesamttestosteronspiegels im Serum statt ( $p < 0,05$ ). Daher gab es in der EMF-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe einen unbedeutenden Rückgang der LH- und FSH-Plasmaspiegel ( $p > 0,05$ ). Die biologischen und morphologischen Wirkungen, die durch die Exposition gegenüber HF-EMF mit

900 MHz hervorgerufen werden, stützen nicht die Annahme einer schädlichen Wirkung auf die Spermatogenese und das Keimepithel. Daher sind morphologische Veränderungen der Hoden möglicherweise auf hormonelle Veränderungen zurückzuführen.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**

10. Lee et al., 2010.

Korea. Sprague-Dawley-Ratten (M). Reproduktionstoxizität.

Wir untersuchten die histologischen Veränderungen durch hochfrequente (HF)-Felder an Rattenhoden, insbesondere im Hinblick auf sensible Prozesse wie die Spermatogenese. Männliche Ratten (20/Gruppe) wurden 12 Wochen lang gegenüber HF-Strahlung mit 848,5 MHz exponiert. Das HF-Expositionsschema bestand aus zwei 45-minütigen HF-Expositionsperioden, die durch eine 15-minütige Pause getrennt waren. Die ganzkörpergemittelte spezifische Absorptionsrate (SAR) der HF-Strahlung betrug 2,0 W/kg. Anschließend untersuchten wir Korrelate der Hodenfunktion wie die Anzahl der Spermien in der Cauda epididymis, die Malondialdehyd-Konzentration in den Hoden und Nebenhoden, die Frequenz der Spermatogenesestadien, die Anzahl der Keimzellen und das Auftreten apoptotischer Zellen in den Hoden. Außerdem führten wir ein p53-, Bcl-2-, Caspase-3-, p21- und PARP-Immunoblotting der Hoden von schein- und HF-exponierten Tieren durch. Basierend auf diesen Ergebnissen kamen wir zu dem Schluss, dass eine subchronische Exposition gegenüber HF-Strahlung mit 848,5 MHz mit einer SAR von 2,0 W/kg keine beobachtbaren schädlichen Wirkungen auf die Spermatogenese bei Ratten hatte.

**Anmerkung: Ausreichend/negativ.**

11. Imai et al., 2011.

Japan. Sprague-Dawley-Ratten (M). Reproduktionstoxizität.

In den letzten Jahren sind Bedenken aufgekommen, ob das Tragen eines Mobiltelefons in der Nähe der Fortpflanzungsorgane, wie z. B. der Hoden, zu Funktionsstörungen und insbesondere zu einem Rückgang der Spermienentwicklung und -produktion und damit der Fertilität bei Männern führen kann. Die vorliegende Studie wurde durchgeführt, um die Auswirkungen eines elektromagnetischen Feldes mit 1,95 GHz auf die Hodenfunktion bei männlichen Sprague-Dawley-Ratten zu untersuchen. Fünf Wochen alte Tiere wurden in drei Gruppen zu je 24 Tieren aufgeteilt und ein 1,95-GHz-Breitband-Codemultiplex (W-CDMA)-Signal, das für Freedom of Mobile Multimedia Access (FOMA) verwendet wird, wurde für eine Ganzkörper-Exposition für 5 Stunden pro Tag, 7 Tage die Woche 5 Wochen lang (der Zeitraum des Alters von 5 bis 10 Wochen, der der Phase der Geschlechtsreife der Ratte entspricht) verwendet. Die ganzkörpergemittelten spezifischen Absorptionsraten (SAR) für Individuen wurden mit 0,4 bzw. 0,08 W/kg angesetzt. Die Kontrollgruppe erhielt eine Scheinexposition. Es gab keine Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf die Körpergewichtszunahme oder das Gewicht von Hoden, Nebenhoden, Samenbläschen und Prostata. Die Anzahl der Spermien in den Hoden und Nebenhoden war in den Gruppen, die gegenüber elektromagnetischen Feldern (EMF) exponiert wurden, nicht vermindert, und tatsächlich war die Spermienzahl in den Hoden bei 0,4 SAR signifikant erhöht. Anomalien der Beweglichkeit oder Morphologie der Spermien und des histologischen Erscheinungsbilds der Hodenkanälchen, einschließlich des Stadiums des Spermatogenesezyklus, wurden nicht beobachtet. Unter den vorliegenden Expositionsbedingungen wurde daher keine Hodentoxizität festgestellt.

**Anmerkung: Ausreichend/negativ.**

12. Meo et al., 2011.

Saudi-Arabien. Wistar-Ratten. Reproduktionstoxizität.

Vierzig männliche Albino-Wistar-Ratten wurden in drei Gruppen aufgeteilt. Die erste Gruppe von acht Ratten diente als Kontrollgruppe. Die zweite Gruppe [Gruppe B, n = 16] wurde für 30 Minuten/Tag und die dritte Gruppe [Gruppe C, n = 16] für 60 Minuten/Tag über einen Zeitraum von insgesamt 3 Monaten von Mobiltelefonen ausgehender Strahlung ausgesetzt. Morphologische Veränderungen in den Hoden, die durch von Mobiltelefonen ausgehender Strahlung hervorgerufen wurden, wurden unter einem

Lichtmikroskop beobachtet. Die Exposition gegenüber von Mobiltelefonen ausgehender Strahlung für 60 Minuten/Tag verursachte in den Hoden von Albino-Ratten im Vergleich zu entsprechenden Kontrollen 18,75 % Hypospermatogenese und 18,75 % Maturationsarrest. Bei Albino-Ratten, die über einen Zeitraum von drei Monaten 30 Minuten/Tag von Mobiltelefonen ausgehender Strahlung ausgesetzt waren, wurden jedoch keine abnormen Befunde beobachtet. Die Langzeitexposition gegenüber von Mobiltelefonen ausgehender Strahlung kann eine Hypospermatogenese und einen Maturationsarrest bei den Spermien in den Hoden von Albino-Wistar-Ratten verursachen.

**Anmerkung: Ausreichend (kleinere Anzahl von als Kontrollen verwendeten Tieren)/mehrdeutig.**

13. Al-Damegh, 2012.

Saudi-Arabien. Wistar-Ratten (M). Reproduktionstoxizität.

Das Ziel dieser Studie war es, die möglichen Wirkungen elektromagnetischer Strahlung durch konventionelle Mobiltelefonnutzung auf den oxidativen und antioxidativen Status in Blut und Hodengewebe von Ratten zu untersuchen und die mögliche schützende Rolle der Vitamine C und E bei der Verhinderung der schädlichen Wirkungen elektromagnetischer Strahlung auf die Hoden zu bestimmen. Die Studienpopulation umfasste 120 männliche Albino-Wistar-Ratten, die in mindestens 10 Gruppen aufgeteilt waren. Die Behandlungsgruppen wurden gegenüber einem elektromagnetischen Feld, einem elektromagnetischen Feld plus Vitamin C (40 mg/kg/Tag) oder einem elektromagnetischen Feld plus Vitamin E (2,7 mg/kg/Tag) exponiert. Alle Gruppen wurden zwei Wochen lang täglich 15, 30 und 60 Minuten gegenüber der gleichen elektromagnetischen Frequenz exponiert. Es war eine signifikante Zunahme des Durchmessers der Samenkanälchen mit einer desorganisierten Unterbrechung des Samenzyklus in den Samenkanälchen in der elektromagnetisch exponierten Gruppe zu verzeichnen. Die Konzentrationen von konjugierten Dienen und Lipidhydroperoxid sowie die Katalaseaktivität im Serum und im Hodengewebe stiegen um das 3-Fache an, während die Glutathion- und Glutathionperoxidase-Werte im Serum und im Hodengewebe bei Tieren mit Elektromagnetismus-Exposition um das 3- bis 5-Fache abnahmen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die negative Wirkung der erzeugten elektromagnetischen Frequenz negative Auswirkungen auf die Architektur und die enzymatische Aktivität in den Hoden hatte. Dieser Befund weist auch auf die mögliche Rolle der Vitamine C und E bei der Abschwächung des oxidativen Stresses in den Hoden und der Wiederherstellung der Normalität in den Hoden hin.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**

14. Celik et al., 2012.

Türkei. Wistar-Ratten (M). Reproduktionstoxizität.

Männliche Wistar-Kyoto-Ratten wurden entweder in eine Kontrollgruppe oder in eine Gruppe, die einem elektromagnetischen Feld (EMF) ausgesetzt wurde, aufgeteilt. Zwei Mobiltelefone mit einer spezifischen Absorptionsrate von 1,58 wurden ausgeschaltet in Käfige gelegt, in denen 15 Ratten der Kontrollgruppe untergebracht waren, und vier Mobiltelefone wurden eingeschaltet in Käfige gelegt, in denen 30 Ratten der experimentellen Gruppe untergebracht waren; die Mobiltelefone wurden jeweils im ausgeschalteten bzw. eingeschalteten Zustand belassen. Nach 3 Monaten wurden das Gewicht, der Durchmesser der Samenkanälchen und der Zustand der spermatogenen Zellen in allen Hoden der Ratten untersucht. Eine Hälfte jedes Hodens wurde außerdem unter einem Elektronenmikroskop untersucht. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Hodengewichten, den Durchmessern der Samenkanälchen und den histopathologischen Bewertungen zwischen Ratten mit und ohne EMF-Exposition festgestellt. Eine elektronenmikroskopische Analyse zeigte, dass die Dicke der Membrana propria und der Gehalt an Kollagenfasern erhöht waren und die Kapillarvenen in der experimentellen Gruppe erweitert waren. Die allgemeine Vakuolisierung im Zytoplasma der Sertoli-Zellen, das Wachstum elektronendichter Strukturen und das Vorhandensein großer Lipidtröpfchen wurden als auffallende Ergebnisse dieser Studie festgestellt. Obwohl die Zellen, die langfristig niedrig dosierten EMF ausgesetzt waren, keine den Kontrollbedingungen zuwiderlaufenden Befunde zeigten, vermittelten die bei der ultrastrukturellen Untersuchung beobachteten Veränderungen den Eindruck, dass bei einer Verlängerung des Untersuchungszeitraums



signifikante Veränderungen auftreten könnten. Längere Studien sind erforderlich, um die Auswirkungen von EMF auf das Hodengewebe besser zu verstehen.

**Anmerkung: Ausreichend/negativ.**

15. Lee et al., 2012.

Korea. Sprague-Dawley-Ratten (M). Reproduktionstoxizität.

Es wurden die Effekte einer kombinierten Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) auf die Hodenfunktion von Ratten untersucht, insbesondere im Hinblick auf empfindliche Prozesse wie die Spermatogenese. Männliche Ratten (20/Gruppe) wurden 12 Wochen lang HF-Signalen mit einem einfachen Codemultiplex-Verfahren (code division multiple access, CDMA) und einem Breitband-Codemultiplexverfahren (wideband code division multiple access, WCDMA) ausgesetzt. Das HF-Expositionsschema umfasste 45 Minuten/Tag, 5 Tage/Woche über einen Zeitraum von insgesamt 12 Wochen. Die ganzkörpergemittelte spezifische Absorptionsrate (SAR) von CDMA und WCDMA betrug jeweils 2,0 W/kg und insgesamt 4,0 W/kg. Die Korrelate der Hodenfunktion wie die Anzahl der Spermien in der Cauda epididymis, die Testosteronkonzentration im Blutserum, die Malondialdehyd-Konzentration in den Hoden und Nebenhoden, die Frequenz der Spermatogenesestadien und das Auftreten apoptotischer Zellen in den Hoden wurden untersucht. Es wurde ein p53-, Bcl-2-, GADD45-, Cyclin-G- und HSP70-Immunoblotting der Hoden von schein- und HF-exponierten Tieren durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen kamen wir zu dem Schluss, dass eine gleichzeitige Exposition gegenüber CDMA- und WCDMA-HF-EMF bei 4,0 W/kg keine beobachtbaren schädlichen Wirkungen auf die Spermatogenese bei Ratten hatte.

**Anmerkung: Ausreichend/negativ.**

16. Ozlem-Nisbet et al., 2012.

Türkei. Wistar-Ratten (M). Reproduktionstoxizität.

Männliche Albino-Wistar-Ratten (2 Tage alt) wurden elektromagnetischen Feldern ausgesetzt, um die Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit bei heranwachsenden männlichen Ratten zu beurteilen. Männliche Albino-Wistar-Ratten (2 Tage alt) wurden 90 Tage lang täglich 2 Stunden lang kontinuierlich gegenüber EMF mit 1 800 und 900 MHz exponiert. Die Tiere der Scheinkontrolle wurde unter ähnlichen Bedingungen gehalten, mit dem Unterschied, dass das elektromagnetische Feld im gleichen Zeitraum nicht angewendet wurde. Nach der Entnahme von Blutproben wurden die Tiere 24 Stunden nach der letzten Exposition getötet und die betreffenden Gewebe entnommen. Das mittlere Gesamtplasmatestosteron war in beiden Studiengruppen ähnlich und lag deutlich höher als bei den Ratten der Scheinkontrolle. Der Prozentsatz der Spermienbeweglichkeit in den Nebenhoden war in der 1 800-MHz-Gruppe signifikant höher ( $p < 0,05$ ). Die Rate der morphologisch normalen Spermien war in der 900-MHz-Gruppe höher und das Auftreten von Schwanzanomalien und der Gesamtprozentsatz der Anomalien waren niedriger ( $p < 0,05$ ). Die histopathologischen Parameter waren in der 1 800-MHz-Gruppe signifikant höher ( $p < 0,05$ ). So lässt sich schlussfolgern, dass die vorliegende Studie darauf hindeutet, dass die Exposition gegenüber elektromagnetischen Wellen einen Anstieg der Testosteronkonzentrationen, der Beweglichkeit (vorwärts) der Spermien in den Nebenhoden und der normalen Spermien-Morphologie bei Ratten verursachte. Folglich könnten 1 800- und 900-MHz-EMF als Ursache für eine frühe Pubertät bei heranwachsenden Ratten angesehen werden.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**

**17. Bin-Meferijand El-kott, 2015.**

Saudi-Arabien. Sprague-Dawley-Ratten (M). Reproduktionstoxizität.

Ziel dieser Studie war es, die Fähigkeit des polyphenolreichen Moringa-oleifera-Blattextrakts zum Schutz der Hoden von Ratten vor Beeinträchtigungen durch elektromagnetische Strahlung (EMS) zu untersuchen, und zwar anhand der Bewertung von Spermienzahl, Lebensfähigkeit, Beweglichkeit, Morphologie der Spermienzellen, Antioxidantien (SOD und CAT), Markern für oxidativen Stress, Histopathologie des Hodengewebes und PCNA-Immunhistochemie. Die Stichprobenumfang bestand aus sechzig männlichen Wistar-Ratten, die in vier gleiche Gruppen aufgeteilt wurden. Die erste Gruppe (die Kontrollgruppe) erhielt nur eine Standardernährung, während die zweite Gruppe acht Wochen lang täglich 200 mg/kg wässrigen Extrakt aus Moringa-Blättern erhielt. Die dritte Gruppe wurde an 7 Tagen pro Woche täglich eine Stunde lang 900-MHz-Feldern ausgesetzt. Die vierte Gruppe wurde von Mobiltelefonen ausgehender Strahlung ausgesetzt und erhielt den Moringa-Extrakt. Die Ergebnisse zeigten, dass die mit EMS behandelte Gruppe eine signifikante Abnahme der Spermienparameter aufwies. Außerdem verbesserten die gleichzeitige Exposition gegenüber EMS und die Behandlung mit Moringa-Extrakt die Spermienparameter erheblich. Die histologischen Ergebnisse in der mit EMS behandelten Gruppe zeigten jedoch unregelmäßige Samenkanälchen, wenige Spermatogonien, riesige vielkernige Zellen sowie degenerierte Spermatozoen, und die Anzahl der Leydig-Zellen war erheblich reduziert. Die PCNA-Labeling-Indizes waren in der mit EMS behandelten Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant. Außerdem beeinträchtigt EMS die Spermatogenese und führt zu Apoptose aufgrund von Hitze und anderem Stress durch EMS im Hodengewebe. Diese Studie kommt zu dem Schluss, dass eine chronische Exposition gegenüber EMS zu Hodenschäden führt, die durch einen Extrakt aus Moringa-oleifera-Blättern verhindert werden können.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.****18. Liu et al., 2015.**

China. Sprague-Dawley-Ratten (M). Reproduktionstoxizität.

Vierundzwanzig Ratten wurden 2 Stunden/Tag elektromagnetischer Strahlung mit 900 MHz mit einer spezifischen Absorptionsrate von  $0,66 \pm 0,01$  W/kg ausgesetzt. Nach 50 Tagen wurden Spermienzahl, Morphologie, Apoptose, reaktive Sauerstoffspezies (reactive oxygen species, ROS) und die totale antioxidative Kapazität (total antioxidative capacity, TAC), die die Summe der enzymatischen und nicht-enzymatischen Antioxidantien darstellt, untersucht. Mittels Western Blot und Reverse-Transkriptase-PCR wurden die Expressionsmengen von mit der Apoptose zusammenhängenden Proteinen und Genen, einschließlich Bcl-2, Bax, Cytochrom c und Capase-3, untersucht. Ergebnisse: In der vorliegenden Studie war der Prozentsatz der apoptotischen Spermazellen in der Expositionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant um 91,42 % erhöht. Außerdem war die ROS-Konzentration in der Expositionsgruppe um 46,21 % erhöht, während die TAC um 28,01 % vermindert war. Die Bestrahlung führte auch zu einem drastischen Rückgang der Protein- und mRNA-Expression von Bcl-2 und zu einem Anstieg der Expression von Bax, Cytochrom c und Capase-3. Schlussfolgerung: Elektromagnetische HF-Strahlung erhöht die ROS-Konzentration und vermindert die TAC in Rattensperma. Übermäßiger oxidativer Stress verändert die Expression von Genen, die mit der Apoptose zusammenhängen, und löst die Apoptose der Spermien über die Signalwege Bcl-2, Bax, Cytochrom c und Caspase-3 aus.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.****19. Saygin et al., 2015.**

Türkei. Sprague-Dawley-Ratten. Reproduktionstoxizität.

Das Ziel dieser Studie war es, die elektromagnetische Strahlung (EMS) zu untersuchen, die von drahtlosen Geräten (2,45 GHz) ausgesendet wird und die physiopathologische oder ultrastrukturelle Veränderungen in den Hoden von Ratten verursachen kann. Wir untersuchten, ob die zusätzliche Einnahme von Gallussäure (GA) diese nachteiligen Auswirkungen reduzieren kann. In dieser Studie wurden sechs Wochen alte männliche Sprague-Dawley-Ratten verwendet. Achtundvierzig Ratten wurden zu gleichen Teilen in vier Gruppen aufgeteilt, die folgendermaßen benannt wurden: Scheinbehandlung, nur EMS (EMS,



3 Stunden/Tag über 30 Tage), EMR1GA (30 mg/kg/Tag) und GA (30 mg/kg/Tag). Die Werte für Malondialdehyd (MDA) und den totalen oxidativen Status (TOS) stiegen in der Gruppe, die nur EMS erhielt, an ( $p = 0,001$  für beide). Die Werte für TOS und den Index für oxidativen Stress (OSI) gingen in der mit GA behandelten Gruppe deutlich zurück ( $p = 0,001$  bzw.  $p = 0,045$ ). Die Aktivitäten bezüglich des totalen antioxidativen Status (TAS) gingen in der nur mit EMS behandelten Gruppe zurück und stiegen in der mit GA behandelten Gruppe an ( $p = 0,001$  bzw.  $p = 0,029$ ). Die Werte für Testosteron und den vaskulären endothelialen Wachstumsfaktor (VEGF) sanken in der nur mit EMS behandelten Gruppe, was jedoch nicht statistisch signifikant war. Die Testosteron- und VEGF-Werte stiegen in der EMR1GA-Gruppe im Vergleich zur nur mit EMS behandelten Gruppe ( $p = 0,002$ ) und auch in der GA-Gruppe im Vergleich zur Kontroll- und der nur mit EMS behandelten Gruppe ( $p = 0,044$  bzw.  $p = 0,032$ ). Die Färbung von Prostaglandin E2 (PGE2) und Calcitonin Gene-Related Peptide (CGRP) nahm in den Hodenkanälchen der nur mit EMS behandelten Gruppe zu ( $p < 0,001$  für beide) und in den Hodenkanälchen der EMR1GA-Gruppe ab ( $p < 0,001$  für alle Parameter). In der nur mit EMS behandelten Gruppe enthielten die meisten Kanälchen weniger Spermien, und die Anzahl der Spermien in den Hodenkanälchen nahm ab. Alle diese Befunde und die Regenerationsreaktion, die durch die mitotische Aktivität gekennzeichnet ist, nahmen in den Zellen der Samenkanälchen in der EMR1GA-Gruppe zu ( $p < 0,001$ ). Eine Langzeit-EMS-Exposition führte über oxidative Schäden und Entzündungen zu physiologischen Erkrankungen des Hodens. GA kann lindernde Wirkungen auf physiologische Erkrankungen der Hoden bei vorpubertären Ratten haben.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**

20. Bilgici et al., 2018.

Türkei. Wistar-Ratten (M). Reproduktionstoxizität.

Es wurden die entzündliche Wirkung und die Schädigung der Hoden bei Ratten untersucht, die schwachen elektromagnetischen Feldern (EMF) mit einer Mikrowellenstrahlung von 2,45 GHz ausgesetzt wurden. 22 Wistar-Ratten wurden in zwei Gruppen aufgeteilt. Gruppe 1 war die Kontrollgruppe und wurde nicht gegenüber EMF exponiert. Gruppe 2 wurde an 30 aufeinanderfolgenden Tagen 1 Stunde/Tag gegenüber schwachen EMF (durchschnittliches E-Feld  $3,68 \pm 0,36$  V/m, durchschnittliche ganzkörpergemittelte SAR  $0,0233$  W/kg in 10 g Gewebe) mit 2,45 GHz exponiert. Am Ende der Studie wurden Interleukin-6 (IL-6), Interleukin-10 (IL-10), Interleukin-32 (IL-32) und C-reaktives Protein (CRP) im Serum der Ratten sowie IL-6, IL-10 und IL-32 im Hodengewebe der Ratten gemessen und das Hodengewebe histopathologisch hinsichtlich Spermatogenese und Koagulationsnekrose untersucht. Die IL-6- und CRP-Konzentrationen im Serum unterschieden sich in der Studiengruppe signifikant von der Kontrollgruppe ( $p < 0,05$ ), aber es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den IL-10- und IL-32-Konzentrationen im Serum und den IL-6-, IL-10- und IL-32-Konzentrationen im Hodengewebe im Vergleich zur Kontrollgruppe festgestellt ( $p > 0,05$ ). Andererseits zeigte die histopathologische Untersuchung des Hodengewebes einen signifikanten Unterschied hinsichtlich Nekrose und Spermatogenese im Vergleich zur Kontrollgruppe ( $p < 0,05$ ). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass schwache EMF mit 2,45 GHz Entzündungen und Hodenschäden verstärken und sich negativ auf die Funktion des männlichen Fortpflanzungssystems auswirken.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**

21. Guo et al., 2019.

China. Sprague-Dawley-Ratten. Reproduktionstoxizität.

Unter bestimmten beruflichen Bedingungen sind Arbeiter zwangsläufig hochintensiven Hochfrequenz(HF)-Feldern ausgesetzt. In dieser Studie untersuchten wir die Auswirkungen einer einmonatigen Exposition gegenüber einem gepulsten modulierten HF-Feld mit 220 MHz mit einer Leistungsdichte von  $50$  W/m<sup>2</sup> auf die Spermienqualität bei erwachsenen männlichen Ratten. Die Spermienqualität wurde durch Messung der Anzahl, Anomalien und Überlebensrate der Spermien beurteilt. Die Morphologie der Hoden wurde durch Hämatoxylin-Eosin(HE)-Färbung untersucht. Das Niveau an Sekretionsfaktoren in den Sertoli-Zellen (Sertoli cells, SC) und Leydig-Zellen (Leydig Cells, LC)

wurde mit einem enzymgekoppelten Immunadsorptionstest (ELISA) gemessen. Die Konzentration von gespalteener Caspase 3 in den Hoden wurde durch Immunfluoreszenzfärbung nachgewiesen. Schließlich wurden die Expressionsmengen der mit der Apoptose zusammenhängenden Proteine (Caspase 3, BAX und BCL2) in den Hoden mittels Western Blot untersucht. Im Vergleich zur Scheinkontrollgruppe nahm die Spermienqualität in der HF-Gruppe deutlich ab. Die Werte der Sekretionsfaktoren der SC und die Morphologie der Hoden zeigten eine deutliche Veränderung nach der HF-Exposition. Die Werte der Sekretionsfaktoren der LC nahmen nach der HF-Exposition signifikant ab. Die Konzentrationen von gespalteener Caspase 3, Caspase 3 und das BAX/BCL2-Verhältnis in den Hoden stiegen nach der HF-Exposition deutlich an. Diese Daten wiesen insgesamt darauf hin, dass unter den vorliegenden experimentellen Bedingungen eine gepulste modulierte Exposition gegenüber HF mit 220 MHz die Spermienqualität bei Ratten beeinträchtigen könnte, und möglicherweise lässt sich diese Beeinträchtigung durch die Störung der Sekretionsfunktion der LC und die erhöhte Apoptose der Hodenzellen, die durch das HF-Feld verursacht werden, erklären.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**

## 22. Yu et al., 2020.

China. Sprague-Dawley-Ratten. Reproduktionstoxizität (Experiment 1 und 2).

Der Zusammenhang zwischen der Langzeitexposition gegenüber SHF-EMS (Smartphone-ausgesendete hochfrequente elektromagnetische Strahlung) und dem Rückgang der männlichen Fertilität findet in der medizinischen Fachwelt immer mehr Beachtung. Zwar sind die männlichen Fortpflanzungsorgane häufig SHF-EMS ausgesetzt, jedoch ist derzeit nur wenig über die direkten Auswirkungen einer langfristigen SHF-EMS-Exposition auf die Hoden und deren Beteiligung an der Unterdrückung des männlichen Fortpflanzungspotenzials bekannt. In der vorliegenden Studie sollte diese Frage mithilfe von 4G-SHF-EMS bei Ratten untersucht werden. Ein einzigartiges Expositionsmodell, bei dem ein 4G-Smartphone verwendet wurde, ermöglichte eine lokale Exposition des Hodensacks der Ratten über einen Zeitraum von 6 Stunden pro Tag (das Smartphone wurde im aktiven Gesprächsmodus gehalten und empfing in 10-minütigen Abständen einen externen Anruf, der jeweils 1 Minute dauerte). Die Ergebnisse zeigten, dass die SHF-EMS-Exposition über einen Zeitraum von 150 Tagen die Spermienqualität und das Gewicht der Rattenjungen verringerte, begleitet von einer Hodenschädigung. Bei Ratten, die 50 oder 100 Tage lang SHF-EMS ausgesetzt waren, traten diese schädlichen Wirkungen allerdings nicht auf. Sequenzanalyse und Western Blot deuteten auf eine Spock3-Überexpression in den Hoden von Ratten hin, die 150 Tage lang SHF-EMS ausgesetzt waren. Durch eine Hemmung der Spock3-Überexpression wurden die Verschlechterung der Spermienqualität, die Hodenschädigung und die BTB-Störung bei den exponierten Ratten gelindert. Außerdem unterdrückte die SHF-EMS-Exposition die MMP2-Aktivität, während sie die Aktivität der MMP14-Spock3-Komplexe erhöhte und die der MMP14-MMP2-Komplexe verringerte; diese Ergebnisse waren durch eine Hemmung von Spock3 reversibel. Die langfristige Exposition gegenüber 4G-SHF-EMS verringerte daher die männliche Fertilität durch direkte Störung der Spock3-MMP2-BTB-Achse in den Hoden erwachsener Ratten. Unseres Wissens ist dies die erste Studie, die das Auftreten einer direkten Toxizität von SHF-EMS auf die Hoden nach Langzeitexposition nachweist.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**

## ENTWICKLUNGSTOXIZITÄT

### Hamster (Tabelle 24, a)

## 23. Lerchl 2008a, 2008b, 2008c.

Deutschland. Dsungarische Zwerghamster. Entwicklungstoxizität.

In drei Experimenten wurden erwachsene männliche dsungarische Zwerghamster (*Phodopus sungorus*) 24 Stunden/Tag über einen Zeitraum von 60 Tagen gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) mit 383, 900 und 1 800 MHz exponiert, moduliert nach den TETRA- (383 MHz) bzw. GSM-Standards (900 und 1 800 MHz). Ein radiales Wellenleitersystem gewährleistete eine gut definierte und gleichmäßige Exposition bei einer ganzkörpergemittelten spezifischen Absorptionsrate von 80 mW/kg, was dem oberen Grenzwert der Ganzkörperexposition der Allgemeinbevölkerung in Deutschland und anderen Ländern entspricht. Für jedes Experiment wurden Hamster mit zwei identischen Wellenleitern verblindet exponiert (n = 120) und scheinexponiert (n = 120). In allen Experimenten wurden die Melatoninwerte in der Zirbeldrüse und im Serum sowie das Gewicht von Hoden, Gehirn, Nieren und Leber hiervon nicht beeinflusst. Bei 383 MHz führte die Exposition zu einem signifikanten, vorübergehenden Anstieg des Körpergewichts um bis zu 4 %, während bei 900 MHz dieser Anstieg des Körpergewichts ausgeprägter (bis zu 6 %) und nicht vorübergehend war. Bei 1 800 MHz wurden keine Auswirkungen auf das Körpergewicht beobachtet. Die Ergebnisse stützen frühere Ergebnisse, die keine Auswirkungen von HF-EMF auf den Melatoninspiegel in vivo und in vitro gezeigt haben. Die Daten stimmen mit der Hypothese überein, dass die absorbierte HF-Energie zu metabolischen Veränderungen führen kann, die schließlich zu einem Anstieg des Körpergewichts bei exponierten Tieren führen. Die Daten stützen die Auffassung, dass die metabolischen Auswirkungen von HF-EMF in zukünftigen Studien genauer untersucht werden müssen.

**Anmerkung: Ausreichend/negativ.**

**Weibliche Mäuse (Tabellen 25, a–c)**

## 24. Finnie et al. a, b (2006, 2009)

BALB/c-Mäuse. Entwicklungstoxizität.

Es sollte bestimmt werden, ob die Exposition des fötalen Mäuse-Gehirns gegenüber von Mobiltelefonen ausgehenden hochfrequenten Feldern während der gesamten Trächtigkeit eine Stress-Reaktion hervorruft, die durch die Induktion von Hitzeschockproteinen (HSPs) nachweisbar ist. Unter Anwendung eines speziell entwickelten Expositionssystems bei 900 MHz erhielten trächtige Mäuse vom 1. bis zum 19. Tag der Trächtigkeit eine einmalige Ganzkörperexposition im Fernfeld bei einer spezifischen Absorptionsrate von 4 W/kg über einen Zeitraum von 60 Minuten/Tag. Die Kontrollmäuse erhielten eine Scheinexposition oder waren in einem Käfig frei beweglich, um den Faktor Stress, der durch das Festhalten im Expositionsmodul verursacht wurde, zu kontrollieren. Unmittelbar vor der Geburt am 19. Tag wurden die fötalen Gehirne entnommen, in 4% Paraformaldehyd fixiert und in Paraffin eingebettet. Aus jedem Gehirn wurden drei koronale Schnitte geschnitten, die eine Vielzahl anatomischer Regionen abdeckten, und etwaige Stressreaktionen wurden durch Immunfärbung für HSP25, 32 und 70 nachgewiesen. Ergebnisse: In keinem der Gehirne wurde HSP32 oder 70 induziert, während die Expression von HSP25 auf zwei Hirnstammkerne beschränkt war und in exponierten und nicht exponierten Gehirnen gleichermaßen auftrat.

**Anmerkung: Ausreichend/negativ.**

## 25. Lee et al., 2009.

Korea. ICR-Mäuse. Entwicklungstoxizität (Teratogenese).

Der Mäusefötus ist ein sehr empfindlicher Indikator für die Auswirkungen von Stress oder Stimuli in der Umwelt. Daher untersuchten wir die teratogenen Auswirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Multisignal-Feldern (HF-EMF) auf Mäuseföten. Trächtige Mäuse wurden gleichzeitig gegenüber zwei Arten von HF-Signalen exponiert, einem einfachen Codemultiplex-Verfahren (code division multiple access, CDMA) und einem Breitband-Codemultiplexverfahren (wideband code division multiple access, WCDMA). Die Mäuse wurden täglich während der gesamten Trächtigkeit mit einem Abstand von 15 Minuten zwischen den Expositionen zweimal über einen Zeitraum von 45 Minuten exponiert. Die ganzkörpergemittelte spezifische Absorptionsrate (SAR) von CDMA oder WCDMA betrug 2,0 W/kg. Die Tiere wurden am 18. Tag der Trächtigkeit auf humane Weise getötet, und die Föten wurden auf Sterblichkeit, Wachstumsverzögerung, Veränderungen der Kopfgröße und andere morphologische Anomalien untersucht. Die Ergebnisse zeigen zum ersten Mal, dass die gleichzeitige experimentelle Exposition gegenüber CDMA- und WCDMA-HF-EMF keine nachteiligen Auswirkungen auf Mäuseföten hat.

**Anmerkung: Unzureichend (kurze tägliche Exposition)/negativ.**

## 26. Fragopoulou et al., 2010.

Griechenland. Balb/c-Mäuse. Entwicklungstoxizität.

Diese Studie konzentriert sich auf die Entwicklung des Fötus nach einer leichten täglichen Exposition von trächtigen Mäusen gegenüber elektromagnetischer Nahfeldstrahlung, die von einem Mobiltelefon ausgeht. Anlass für die Untersuchung war die Tatsache, dass die potenziell gefährliche elektromagnetische Strahlung, die von Mobiltelefonen ausgeht, derzeit von erheblichem öffentlichen Interesse ist. Körperlich vergleichbare trächtige Mäuse wurden einer hochfrequenten GSM-900-MHz-Strahlung ausgesetzt, die von einem Mobiltelefon ausgesendet wurde. 5 Stunden nach der Geburt wurden die meisten Jungtiere fixiert und anschließend mit einer Doppelfärbung in toto und konventioneller Paraffinhistologie behandelt. Andere Jungtiere blieben bis zum Durchbruch der Zähne bei ihren Muttertieren. Die strukturelle Entwicklung wurde bewertet, indem die Neugeborenen auf Anomalien und/oder Veränderungen der Weichteile und der Skelettanatomie untersucht wurden. Elektromagnetischer Hochfrequenzstrahlung ausgesetzt Neugeborene, die äußerlich untersucht wurden, wiesen einen normalen Phänotyp auf.

Histochemische und histologische Untersuchungen zeigten jedoch bei den exponierten Föten im Vergleich zu den Kontrollföten Abweichungen bei der Verknöcherung der Schädelknochen und der Rippen des Brustkorbs sowie bei der Verschiebung des Meckelschen Knorpels. Wurfgeschwister, die nach dem Durchbruch der Zähne untersucht wurden, wiesen normale Phänotypen auf. So gelangt man zu dem Schluss, dass eine leichte Exposition gegenüber Mobiltelefonen die fötale Entwicklung von Mäusen hinsichtlich der Verknöcherung beeinflussen kann, wenn auch nur vorübergehend. Die beobachteten Entwicklungsunterschiede lassen sich möglicherweise durch den unterschiedlichen embryonalen Ursprung und die Art der Verknöcherung der betroffenen Skelettelemente erklären.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**

27. Sambucci et al., 2011.

Italien. Neugeborene C57BL/6-Mäuse (M und W). Entwicklungstoxizität (Immuntoxikologie).

Die Entwicklung des Immunsystems beginnt während der Embryogenese, und setzt sich während des gesamten fetalen Lebens fort; die Reifung des Immunsystems ist noch im Säuglingsalter abgeschlossen. Die Exposition gegenüber immuntoxischen Verbindungen in einer Höhe, die bei Erwachsenen begrenzte/vorübergehende Auswirkungen hat, führt zu lang anhaltenden oder dauerhaften Immundefiziten, wenn sie während des perinatalen Lebens erfolgt. Potenziell schädliche Exposition gegenüber hochfrequenter (HF-)Strahlung wurde hauptsächlich an erwachsenen Tieren oder mit Zellen von erwachsenen Personen untersucht, wobei die meisten Studien keine Auswirkungen zeigten. Ist das sich entwickelnde Immunsystem anfälliger für die Auswirkungen von HF-Exposition? Um diese Frage zu klären, wurden neugeborene Mäuse ab dem Tag nach der Geburt über 5 aufeinanderfolgende Wochen hinweg mit WiFi-Signalen bei konstanten spezifischen Absorptionsraten (SAR) von 0,08 oder 4 W/kg, 2 Stunden/Tag, 5 Tage/Woche bestrahlt. Die Experimente wurden in einem verblindeten Verfahren durchgeführt, wobei scheinexponierte Gruppen als Kontrollen dienten. Bei Mäusen beiderlei Geschlechts wurden keine Unterschiede hinsichtlich des Körpergewichts und der Entwicklung zwischen den Gruppen festgestellt. Bei den immunologischen Analysen zeigten die Ergebnisse an weiblichen und männlichen neugeborenen Mäusen, die während des frühen postnatalen Lebens exponiert wurden, keine Auswirkungen auf alle untersuchten Parameter, mit einer Ausnahme: eine verringerte IFN-g-Produktion in Milzzellen von männlichen (nicht weiblichen) Mäusen, die gegenüber Mikrowellen (MW) exponiert wurden (SAR 4 W/kg), im Vergleich zu scheinexponierten Mäusen. Insgesamt stützen unsere Ergebnisse nicht die Hypothese, dass die Exposition gegenüber WiFi-Signalen in der frühen postnatalen Lebensphase schädliche Auswirkungen auf das sich entwickelnde Immunsystem hat.

**Anmerkung: Ausreichend/negativ, mit der Ausnahme einer verringerten IFN-g-Produktion in Milzzellen von männlichen (nicht weiblichen) Mäusen, die gegenüber Mikrowellen (SAR 4 W/kg) exponiert wurden, im Vergleich zu scheinexponierten Mäusen.**

28. Zhang et al., 2015.

China. CD1-Mäuse. Entwicklungstoxizität (Verhaltensstudie).

Die rasante Entwicklung der elektronischen Kommunikationstechniken in jüngster Zeit führt zu einem deutlichen Anstieg der Exposition des Menschen gegenüber elektromagnetischen Feldern (EMF). Dies hat in der Öffentlichkeit Besorgnis über die gesundheitlichen Gefahren einer langfristigen EMF-Exposition für Föten und Kinder ausgelöst. Einige Studien deuten darauf hin, dass EMF-Exposition bei Kindern Störungen des Nervensystems hervorrufen kann. Über geschlechtsabhängige Wirkungen der Mikrowellenexposition auf kognitive Störungen wurde jedoch bisher nicht berichtet. Hier untersuchten wir, ob die In-utero-Exposition bei 9,417-GHz-Mikrowellen während der Trächtigkeit (Tage 3,5–18) das Verhalten beeinflusst, indem wir den Test im freien Gelände (Open Field Test, OFT), das erhöhte Plus-Labyrinth (Elevated Plus Maze EPM), den Tail-Suspension Test (TST), den erzwungenen Schwimmtest (Forced Swimming Test, FST) und das Morris-Wasserlabyrinth (Morris Water Maze, MWM) verwendeten. Dabei stellten wir fest, dass die Mäuse nach der In-utero-Exposition gegenüber 9,417-GHz-Strahlung weniger Bewegung in der Mitte eines offenen Feldes (mit dem OFT) und in einem offenen Arm (mit dem EPM) zeigten, was darauf hindeutet, dass die Mäuse ein erhöhtes angstbezogenes Verhalten zeigten. Die Mäuse zeigten eine geringere



Unbeweglichkeit im TST und FST nach einer In-utero-Exposition gegenüber 9,417-GHz-Strahlung, was darauf hindeutet, dass die Mäuse ein geringeres depressionsbedingtes Verhalten zeigten. Beim MWM-Test stellten wir fest, dass die männlichen Nachkommen ein vermindertes Lern- und Erinnerungsvermögen aufwiesen, während die weiblichen Nachkommen in ihrem Lern- und Erinnerungsvermögen nicht beeinträchtigt waren, was die Vermutung nahelegt, dass Mikrowellen geschlechtsabhängige Auswirkungen haben. Zusammenfassend haben wir die erste experimentellen Evidenz vorgelegt, dass Mikrowellen geschlechtsabhängige Wirkungen hervorrufen.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv (geschlechtsabhängige Wirkungen).**

29. Fatehi et al., 2018.

Iran. NMRI-Mäuse. Entwicklungstoxizität.

Es wurden zweihundert männliche und weibliche NMRI-Mäuse verwendet. Einhundert männliche Tiere, aufgeteilt in fünf Gruppen (n = 20) als Kontroll- und Expositionsgruppen: Tiere, die täglich 1, 5 und 10 Stunden mit von Mobiltelefonen ausgehender HF im „Standby-Modus“ bestrahlt wurden, wurden als Gruppen II, III bzw. IV bezeichnet. Gruppe V wurde täglich eine Stunde mit Mobiltelefonen im „Aktiv-Modus“ bestrahlt. Nach 30-tägiger Bestrahlung wurden 50 männliche und 50 weibliche Tiere 24 Stunden lang aufbewahrt, um ihre Embryonen zu untersuchen. Fünfzig männliche Tiere wurden getötet, um die In-vitro- und In-vivo-Parameter zu bewerten, und 50 weibliche Tiere erhielten PMSG und HCG zur quantitativen und qualitativen Bewertung. Der Vergleich der Gruppen III, IV und V mit der Kontrollgruppe ergab einen signifikanten Rückgang der Anzahl der zweizelligen Embryonen ( $p = 0,000$ ); Es wurde allerdings ein signifikanter Anstieg der Zahl der toten Embryonen festgestellt ( $p = 0,000$ ). Darüber hinaus verringerte eine Bestrahlung von 5 Stunden täglich die Zahl der Grad-A-Embryonen signifikant ( $p = 0,015$ ); während sie bei Embryonen der Grade B, C und D zu einem signifikanten Anstieg führte ( $p$ -Werte = 0,026, 0,007 bzw. 0,006). Außerdem wurde beim Vergleich der Gruppen IV und V mit der Kontrollgruppe eine signifikante Verlängerung der Trächtigkeitsdauer festgestellt ( $p = 0,005$  bzw.  $p = 0,009$ ). In den genannten Gruppen wurde jedoch ein signifikanter Rückgang der Zahl der neugeborenen Mäuse festgestellt ( $p = 0,001$  bzw.  $p = 0,004$ ). Daher lässt sich schlussfolgern, dass die Mobilfunkstrahlung die Entwicklung der Embryonen sowie die Anzahl der Neugeborenen und die Dauer der Trächtigkeit bei NMRI-Mäusen beeinträchtigen kann, was eine wesentliche Ursache für eine etwaige Unfähigkeit zur Fortpflanzung sein könnte.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**

**Ratten (Tabelle 26, a)**

30. Nelson et al., 1991, 1994, 1997, 1997. USA. Sprague-Dawley-Ratten. Entwicklungstoxizität (synergistische Effekte).

Am Arbeitsplatz kommt es zu einer gleichzeitigen Exposition gegenüber chemischen und physikalischen Agenzien; Zu den exponierten Arbeitnehmern gehören Beschäftigte in der Mikroelektronikindustrie sowie im Sektor für Kunststoffversiegelung und elektrochirurgische Geräte. In der Vergangenheit durchgeführte Tierversuche deuten darauf hin, dass eine durch eine erhöhte Umgebungstemperatur ausgelöste Hyperthermie die Toxizität und Teratogenität einiger chemischer Agenzien verstärken kann. Wir haben zuvor gezeigt, dass die kombinierte Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung (HF; 10 MHz), die ebenfalls Hyperthermie auslöst und bei exponierten Tieren teratogen wirkt, und dass das industrielle Lösungsmittel 2-Methoxyethanol (2ME) bei Ratten zu einer erhöhten Teratogenität führt. Eine nachfolgende Studie wiederholte und erweiterte diese Forschung, indem sie die interaktive dosisabhängige Teratogenität von HF-Strahlung (Scheinexposition oder Aufrechterhaltung der Darmtemperatur bei 42,0 Grad C° für 0, 10, 20 oder 30 Minuten durch HF-Strahlenabsorption) und 2ME (0, 75, 100, 125 oder 150 mg/kg) an den Trächtigkeitstagen 9 oder 13 von Ratten untersuchte. Ziel der vorliegenden Forschung ist es, die Auswirkungen von HF-Strahlung (ausreichend, um die Darmtemperatur 10 Minuten lang auf 42,0 °C zu halten) auf eine Reihe von 2ME-Dosen (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 und 140 mg

kg-1) zu bestimmen, die Ratten am 13. Trächtigkeitstag verabreicht wurden. Diese Forschung konzentriert sich auf die Beschreibung des Dosis-Wirkungs-Profiles von Wechselwirkungen und hat zum Ziel, das niedrigste Wechselwirkungsniveau zu bestimmen. An Tag 20 entnommene Föten wurden auf externe und skelettale Fehlbildungen untersucht. Die Ergebnisse stehen mit früheren Beobachtungen im Einklang. Für 2ME wurde eine dosisabhängige Entwicklungstoxizität sowohl bei Vorhandensein als auch bei Nichtvorhandensein von HF-Strahlung beobachtet. Durch die gleichzeitige HF-Strahlenexposition wurde jedoch die Form der Dosis-Wirkungs-Kurve von 2ME verändert. Diese Daten legen nahe, dass bei der Entwicklung von Richtlinien und Interventionsstrategien für die Exposition die Effekte der kombinierten Exposition berücksichtigt werden sollten.

**Anmerkung: Unzureichend (thermische Effekte werden bei der Untersuchung von Synergieeffekten berücksichtigt).**

31. Nelson et al., 2001.

USA. Sprague-Dawley-Ratten. Entwicklungstoxizität (synergistische Effekte).

Mit der vorliegenden Studie soll untersucht werden, ob die bei HF-Strahlung und 2ME festgestellten Wechselwirkungen nur bei diesen beiden Agenzien auftreten, oder ob ähnliche Wechselwirkungen auch bei anderen Chemikalien zu beobachten sind. Da Methanol sowohl als Lösungsmittel als auch als Kraftstoffzusatz verbreitet verwendet wird und in hohen Konzentrationen bei Tieren teratogen wirkt, haben wir Methanol als Chemikalie ausgewählt, um die Verallgemeinerbarkeit zu prüfen. Basierend auf der Literatur und unseren Pilotstudien wurden Gruppen von 10 Sprague-Dawley-Ratten am 9. oder 13. Trächtigkeitstag 0, 2 oder 3 g/kg Methanol (zweimal im Abstand von 6 Stunden) verabreicht. Die am 9. Tag behandelten Muttertiere erhielten Methanol und wurden 60 Minuten lang einer HF-Bestrahlung ausgesetzt, die ausreichte, um die Darmtemperatur bei 41 Grad C° zu halten (oder sowie wurden einer Scheinexposition ausgesetzt). Die an Tag 13 behandelten Muttertiere erhielten Methanol sowie entweder 0 oder 100 mg/kg 2ME. Da wir beobachteten, dass Methanol eine Hypothermie hervorruft, erhielten einige Gruppen die erste Dosis Methanol gleichzeitig mit der HF- oder 2ME-Behandlung, andere wiederum erhielten die erste Dosis Methanol 1,5 Stunden vor der HF- oder 2ME-Behandlung. Die Muttertiere wurden am 20. Trächtigkeitstag getötet, und die Föten wurden auf externe Fehlbildungen untersucht. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass HF-Strahlung oder Methanol an Tag 9 die Häufigkeit von resorbierten Föten erhöht, aber keine Wechselwirkungen beobachtet wurden. Die Resorptionen waren in den Gruppen am höchsten, die die experimentellen Behandlungen im Abstand von 1,5 Stunden erhielten. Die höhere Methanol-Dosis reduzierte außerdem das Gewicht der Föten. Die Verabreichung von 2ME oder Methanol an Tag 13 erhöhte die Rate der Fehlbildungen, und es gab Hinweise auf eine positive Wechselwirkung zwischen 2ME und Methanol. Das Gewicht der Föten wurde durch 2ME und Methanol allein reduziert, aber es wurden keine Wechselwirkungen beobachtet. Darüber hinaus hatte eine Trennung der Dosisgabe von der Gabe der teratogenen Stoffe keine Auswirkungen auf die Ergebnisse. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass Wechselwirkungen hinsichtlich der Entwicklungstoxikologie, wie z. B. die von uns untersuchten Wechselwirkungen von HF-Strahlung, 2ME und Methanol, komplex sind und ohne weitere Forschung nicht vollständig verstanden oder vorhergesagt werden können. Es ist wichtig, dass bei der Entwicklung von Richtlinien und Interventionsstrategien für die Exposition gegenüber physikalischen und chemischen Agenzien die Effekte der kombinierten Exposition berücksichtigt werden.

**Anmerkung: Unzureichend (thermische Effekte werden bei der Untersuchung von Synergieeffekten berücksichtigt).**

32. Ogawa et al., 2009.

Japan. Sprague-Dawley-Ratten (W), 10 Tage. Entwicklungstoxizität.

In der vorliegenden Studie sollte untersucht werden, ob die Exposition gegenüber einem auf den Kopfbereich gerichteten EMF, ähnlich dem von Mobiltelefonen, während der Trächtigkeit die Embryogenese bei Ratten beeinflussen könnte. Ein 1,95-GHz-Breitband-Codemultiplex-Signal (W-CDMA), das für das International Mobile Telecommunications 2000 (IMT-2000)-System und für Freedom of Mobile



Multimedia Access (FOMA) verwendet wird, wurde für die Exposition der Köpfe von vier Gruppen trächtiger CD(SD)-IGS-Ratten (20 pro Gruppe) während der Trächtigkeitstage 7–17 eingesetzt. Die Exposition erfolgte morgens jeweils über einen Zeitraum von 90 Minuten/Tag. Die räumliche durchschnittliche spezifische Absorptionsrate (SAR) für einzelne Gehirne wurde auf 0,67 und 2,0 W/kg festgelegt, mit Spitzen-SAR-Werten für das Gehirn von 3,1 und 7,0 W/kg für niedrige (Gruppe 3) bzw. hohe (Gruppe 4) Expositionen und einem durchschnittlichen ganzkörpergemittelten SAR-Wert von weniger als 0,4 W/kg, um keine thermischen Effekte aufgrund einer Temperaturerhöhung zu verursachen. Kontroll- und Scheinexpositionsgruppen wurden ebenfalls einbezogen. Am 20. Trächtigkeitstag wurden alle Muttertiere getötet und die Föten per Kaiserschnitt entnommen. Bei der Gewichtszunahme der Muttertiere gab es keine Unterschiede. Es wurden keine nachteiligen Wirkungen der EMF-Exposition auf irgendwelche reproduktiven und embryotoxischen Parameter beobachtet, wie z. B. Anzahl der lebenden (243–271 Föten), toten oder resorbierten Embryonen, Plazentagewichte, Geschlechterverhältnisse, Gewichte oder äußere, viszerale oder skelettale Anomalien der lebenden Föten.

**Anmerkung: Ausreichend/negativ.**

### 33. Sommer et al., 2009.

Deutschland, C57BL-Mäuse (M, W). Über mehrere Generationen hinweg durchgeführte Studie. Entwicklungstoxizität.

Männliche und weibliche Mäuse (C57BL) wurden chronisch (lebenslang, 24 Stunden/Tag) gegenüber von Mobiltelefonen ausgehenden elektromagnetischen Feldern bei etwa 1966 MHz (UMTS) exponiert. Ihre Entwicklung und Fruchtbarkeit wurden über vier Generationen hinweg durch die Untersuchung von histologischen, physiologischen, reproduktiven und verhaltensbezogenen Funktionen verfolgt. Exposition von 24 Stunden/Tag, 7 Tage/Woche, unter Verwendung von 128 M und 256 W über vier Generationen. Die mittleren Ganzkörper-SAR-Werte, die für erwachsene Tiere zum Zeitpunkt der Paarung berechnet wurden, betragen 0 (Schein), 0,08, 0,4 und 1,3 W/kg. Die Leistungsdichten wurden für jede Gruppe konstant gehalten (0, 1,35, 6,8 und 22 W/m<sup>2</sup>), was in unterschiedlichen SAR-Werten resultierte, da sich die Anzahl der erwachsenen Tiere und der Jungtiere im Laufe des Experiments unterschied. Das Experiment wurde verblindet durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen keine schädlichen Auswirkungen der Exposition auf die Fertilität und Entwicklung der Tiere. Die Anzahl und die Entwicklung der Jungtiere wurden durch die Exposition nicht beeinflusst. Einige Daten, wenn auch ohne eindeutige Dosis-Wirkungs-Beziehung, deuten auf Auswirkungen der Exposition auf den Nahrungsverzehr hin, was mit einigen zuvor veröffentlichten Daten übereinstimmt. Somit lässt sich zusammenfassen, dass die Ergebnisse dieser Studie nicht auf schädliche Wirkungen einer Langzeitexposition von Mäusen gegenüber UMTS über mehrere Generationen hinweisen.

**Anmerkung: Ausreichend/negativ.**

### 34. Ozorak et al., 2013.

Türkei. Wistar-Ratten. Entwicklungstoxizität.

Mit der vorliegenden Studie sollten die Auswirkungen sowohl von WLAN (2,45 GHz)-induzierter elektromagnetischer Strahlung (EMS) als auch der von Mobiltelefonen (900 und 1 800 MHz) induzierten EMS auf den oxidativen Stress und die Spurenelement-Gehalte in den Nieren und Hoden von heranwachsenden Ratten von der Trächtigkeit bis zum Alter von 6 Wochen bestimmt werden. Zweiunddreißig Ratten und ihre 96 neugeborenen Jungen wurden zu gleichen Teilen in vier verschiedene Gruppen eingeteilt, und zwar in die Kontroll-, 2,45-GHz-, 900-MHz- und 1 800-MHz-Gruppe. Die 2,45-GHz-, 900-MHz- und 1 800-MHz-Gruppen wurden während der Trächtigkeit und des Wachstums 60 Minuten pro Tag EMS ausgesetzt. In der vierten, fünften und sechsten Woche des Experiments wurden Nieren- und Hodenproben von enthaupteten Ratten entnommen. Die Ergebnisse der vierten Woche zeigten, dass das Niveau der Lipidperoxidation in Niere und Hoden und die Werte für Kupfer, Zink, reduziertes Glutathion (GSH), Glutathionperoxidase (GSH-Px) und den totalen antioxidativen Status (TAS) in der Niere in den EMS-Gruppen abnahmen, während die Eisenkonzentrationen in der Niere sowie die Konzentrationen von

Vitamin A und Vitamin E in den Hoden in den EMS-Gruppen anstiegen. Die Ergebnisse der Proben aus der fünften Woche zeigten, dass die Konzentrationen von Eisen, Vitamin A und  $\beta$ -Carotin in den Nieren in den EMS-Gruppen zunahmen, während die GSH- und TAS-Werte abnahmen. Die Ergebnisse der sechsten Woche zeigten, dass die Eisenkonzentrationen in den Nieren und das Ausmaß der Lipidperoxidation in den Nieren und Hoden in den EMS-Gruppen zunahmen, während die Kupfer-, TAS- und GSH-Konzentrationen abnahmen. Hinsichtlich der Chrom-, Magnesium- und Mangankonzentrationen in den Nieren gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den vier Gruppen. So lässt sich zusammenfassen, dass WLAN- und Mobiltelefon-induzierte EMS oxidative Schäden verursachte, indem sie das Ausmaß der Lipidperoxidation und den Eisenspiegel erhöhte, während sie den totalen antioxidativen Status, die Kupfer- und die GSH-Werte verringerten. WLAN- und Mobiltelefon-induzierte EMS können bei heranwachsenden Ratten eine frühzeitige Pubertät und oxidative Nieren- und Hodenschäden verursachen.

**Anmerkung: Ausreichend, positiv (auch Hodenschädigungen).**

35. Poullietier de Gannes et al., 2013.

Frankreich. Wistar-Ratten (M, W). Entwicklungstoxizität.

Zum ersten Mal untersuchten wir die Auswirkungen einer Exposition gegenüber dem 2450-MHz-Wi-Fi-Signal (1 Stunde/Tag, 6 Tage/Woche) auf das Fortpflanzungssystem von männlichen und weiblichen Wistar-Ratten, die während der sexuellen Reifung Wi-Fi-Strahlung ausgesetzt waren. 36 männliche und weibliche Wistar-Han-Ratten wurden im Alter von 6 bzw. 7 Wochen erworben (Janvier, Frankreich) und 1 Stunde/Tag, 6 Tage/Woche, 12 Tiere pro Gruppe exponiert. Die Exposition dauerte 3 Wochen (Männchen) bzw. 2 Wochen (Weibchen), dann wurden die Tiere verpaart und die Paare weiter 3 Wochen lang exponiert. Am Tag vor der Geburt wurden die Föten hinsichtlich Letalität, Anomalien und klinische Anzeichen untersucht. In unserem Experiment wurden keine schädlichen Auswirkungen der Wi-Fi-Exposition auf die männlichen und weiblichen Fortpflanzungsorgane und die Fertilität von Ratten bei einer Exposition von 1 Stunde pro Tag beobachtet. Selbst beim kritischen Expositionswert von 4 W/kg wurden keine makroskopischen Anomalien bei den Föten festgestellt.

**Anmerkung: Ausreichend/negativ.**

36. Celik et al., 2016.

Türkei. Wistar-Ratten. Entwicklungstoxizität (neurologisch).

Die Studie untersucht die Auswirkungen von Wi-Fi-induzierter elektromagnetischer Strahlung (EMS) auf das antioxidative Redoxsystem von Gehirn und Leber der Ratte während der Trächtigkeit und der Entwicklung. Sechzehn trächtige Ratten und ihre 48 Neugeborenen wurden zu gleichen Teilen in Kontroll- und EMS-Gruppen aufgeteilt. Die EMS-Gruppen wurden von der Trächtigkeit bis zum Alter von 3 Wochen gegenüber 2,45-GHz-EMS (1 Stunde/Tag, 5 Tage/Woche) exponiert. Hirnrinden- und Leberproben wurden den Neugeborenen zwischen der ersten und dritten Woche entnommen. In den EMS-Gruppen waren die Lipidperoxidationswerte im Gehirn und in der Leber nach der EMS-Exposition erhöht; Die Aktivität der Glutathion-Peroxidase (GSH-Px) sowie die Konzentrationen von Vitamin A, Vitamin E und  $\beta$ -Carotin im Gehirn und in der Leber waren hingegen verringert. Die Konzentrationen von Glutathion (GSH) und Vitamin C im Gehirn waren in den EMS-Gruppen ebenfalls niedriger als in den Kontrollgruppen; ihre Konzentrationen in der Leber waren jedoch nicht verändert. Somit lässt sich schlussfolgern, dass der Wi-Fi-induzierte oxidative Stress im Gehirn und in der Leber von sich entwickelnden Ratten auf eine verringerte Konzentration von GSH-Px, GSH und antioxidativen Vitaminen zurückzuführen ist. Darüber hinaus schien das Gehirn hinsichtlich der Entwicklung von Neugeborenen empfindlicher auf oxidative Schäden zu reagieren als die Leber.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**

### 37. Shirai et al., 2016.

Japan. Sprague-Dawley-Ratten. Entwicklungstoxizität.

Um die möglichen schädlichen Wirkungen von Multifrequenz-HF-EMF zu untersuchen, wurde ein Versuch durchgeführt, bei dem trächtige Ratten und ihre geborenen Nachkommen gleichzeitig acht verschiedenen Kommunikationssignal-EMF ausgesetzt wurden (zwei im 800-MHz-Band, zwei im 2-GHz-Band, eines im 2,4-GHz-Band, zwei im 2,5-GHz-Band und eines im 5,2-GHz-Band). Sechsendreißig trächtige 10 Wochen alte Sprague-Dawley (SD)-Ratten wurden in drei Gruppen mit je 12 Ratten aufgeteilt: eine Kontrollgruppe (Scheinexposition) und zwei experimentelle Gruppen (schwache und starke HF-EMF-Exposition). Der gesamte Körper der Ratten-Muttertiere wurde vom 7. Schwangerschaftstag bis zum Absetzen 20 Stunden pro Tag HF-EMF ausgesetzt, und die F1-Nachkommen (46–48 F1-Welpen pro Gruppe) wurden dann bis zum Alter von 6 Wochen ebenfalls 20 Stunden pro Tag exponiert. Zu den untersuchten Parametern gehörten das Wachstum, der Trächtigkeitszustand und die Organgewichte der Muttertiere; die Überlebensraten, die Entwicklung, das Wachstum, die körperliche und funktionelle Entwicklung, die Gedächtnisfunktion und die Fortpflanzungsfähigkeit der F1-Nachkommen; sowie die Embryotoxizität und Teratogenität bei den F2-Ratten. Bei den Muttertieren oder F1-Nachkommen, die den HF-EMF ausgesetzt waren, oder bei den F2-Nachkommen wurden bei keinem der untersuchten Parameter abnorme Befunde beobachtet. Unter den Bedingungen des vorliegenden Experiments zeigte die gleichzeitige Ganzkörperexposition gegenüber acht verschiedenen Kommunikationssignal-EMF bei Frequenzen zwischen 800 MHz und 5,2 GHz keine schädlichen Wirkungen auf die Schwangerschaft oder die Entwicklung von Ratten.

**Anmerkung: Ausreichend/negativ.**

### 38. Stasinopoulou et al., 2016.

Griechenland. Wistar-Ratten. Entwicklungstoxizität (neurologisch).

In der vorliegenden Studie wurden Wistar-Ratten (80 Muttertiere in 4 Gruppen) während der Trächtigkeit gegenüber einer durchschnittlichen elektrischen Feldstärke von 3,7 V/m, 12 Stunden/Tag exponiert, um die Auswirkungen der drahtlosen 1880-1900 MHz Digital Enhanced Communication Telephony (DECT)-Basisstrahlung auf die fötale und postnatale Entwicklung zu bewerten. Nach der Geburt wurden eine Gruppe von Muttertieren und ihr Nachwuchs in ähnlicher Weise weitere 22 Tage lang exponiert. Die Kontrollen erhielten eine Scheinexposition. Die Daten zeigten, dass die Exposition gegenüber DECT-Basisstrahlung die Herzfrequenz der Embryonen am 17. Tag der Trächtigkeit erhöhte. Außerdem wurden signifikante Veränderungen der somatometrischen Merkmale der Neugeborenen festgestellt. Der Verlust von Pyramidenzellen und die Überexpression von GFAP (Glia Fibrillary Acidic Protein) wurden in der CA4-Region des Hippocampus von 22 Tage alten Jungtieren festgestellt, die entweder während des pränatalen Lebens oder sowohl prä- als auch postnatal bestrahlt wurden. Veränderungen der Integrität des Gehirns der 22 Tage alten Jungtiere könnten möglicherweise mit entwicklungsbedingten Verhaltensänderungen während der Fetalzeit zusammenhängen.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**

### 39. Othman et al., 2017.

Tunesien. Wistar-Ratten. Entwicklungstoxizität (neurologisch).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die Auswirkungen einer pränatalen Exposition gegenüber Hochfrequenzwellen herkömmlicher WiFi-Geräte auf die postnatale Entwicklung und das Verhalten von Ratten-Nachkommen untersucht. Zehn trächtige Albino-Wistar-Ratten wurden nach dem Zufallsprinzip zwei Gruppen zugewiesen (n=5). Die experimentelle Gruppe wurde während der gesamten Trächtigkeitsdauer täglich 2 Stunden lang einem 2,45-GHz-WiFi-Signal ausgesetzt. Die weiblichen Kontrolltiere wurden denselben Bedingungen wie die behandelte Gruppe ausgesetzt, ohne dass WiFi-Strahlung angewendet wurde. Nach der Geburt wurden die Nachkommen während ihrer ersten 17 Postnataltage (PNT) auf ihre körperliche und neurologische Entwicklung, anschließend auf Angst (PNT

28) und Motorik (PNT 40-43) sowie auf die oxidative Stressreaktion im Gehirn und die Cholinesteraseaktivität in Gehirn und Serum (PNT 28 und 43) untersucht. Unsere wichtigsten Ergebnisse zeigten, dass die WiFi-Exposition in der Gebärmutter die neurologische Entwicklung der Nachkommen in den ersten siebzehn postnatalen Tagen beeinträchtigte, ohne das emotionale und motorische Verhalten im Erwachsenenalter zu verändern. Außerdem induzierte die pränatale WiFi-Exposition ein Ungleichgewicht des oxidativen Stresses im Gehirn (Anstieg des Malondialdehyd-Gehalts (MDA) und des Wasserstoffperoxid-Gehalts (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) und eine Abnahme der Katalase(CAT)- und Superoxid-Dismutase(SOD)-Aktivitäten) im Alter von 28, aber nicht von 43 Tagen, außerdem beeinflusste die Exposition die Acetylcholinesterase-Aktivität sowohl auf Hirn- als auch auf Serumebene. Somit zeigte die aktuelle Studie, dass die Exposition der Muttertiere gegenüber WiFi-Hochfrequenzen zu verschiedenen negativen neurologischen Wirkungen bei den Nachkommen führte, indem sie die neurologische Entwicklung, das Stressgleichgewicht im Gehirn und die Cholinesterase-Aktivität beeinträchtigte.

**Anmerkung: Ausreichend/positiv.**

Tabelle 21 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Reproduktionstoxizität bei männlichen Mäusen (450–6 000 MHz) (a)

Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Expositionsdauer	Frequenz, Intensität Andere Co-Expositionen	Expositionszeit, Anzahl der Tiere	Beobachtete Wirkungen	Anmerkungen
<b>1. Mugunthan et al., 2012</b> , Schweizer Albino-Mäuse (M), 30 bis 180 Tage	2G-Ultrahochfrequenzstrahlung (900–1 900 MHz); der höchste SAR-Wert für dieses Standard-Mobilgerät betrug 1,69 W/kg	48 Minuten/Tag; 18 Mäuse/Gruppe	Das Gewicht der exponierten Tiere war im ersten, zweiten und vierten Monat niedriger ( $p < 0,05$ ). Das mittlere Hodengewicht der exponierten Mäuse war in allen Monaten außer im vierten Monat signifikant reduziert ( $p < 0,05$ ), und das mittlere Hodenvolumen war in den ersten drei Monaten signifikant reduziert ( $p < 0,05$ ). Die mittlere Dichte der Samenkanälchen pro Flächeneinheit war in den exponierten Hoden signifikant niedriger ( $p < 0,01$ ). Der mittlere Durchmesser der Samenkanälchen war in den exponierten Hoden signifikant reduziert ( $p < 0,01$ ), außer im zweiten Monat. Die durchschnittliche Anzahl der Sertoli- und Leydig-Zellen war bei den exponierten Mäusen signifikant reduziert ( $p < 0,01$ ). Der mittlere Serum-Testosteronspiegel der exponierten Mäuse war signifikant niedriger ( $p < 0,01$ ). Die folgenden mikroskopischen Veränderungen wurden in den Hoden von HFS-exponierten Mäusen gefunden. 1. Das Interstitium erschien breit 2. Die Sertoli-Zellen und die Spermatogonien lagen nicht an der Basallamina an. 3. Vakuoläre Degeneration und Desquamation des Samenepithels. Die meisten der peripheren Kanälchen zeigten einen Maturationsarrest in der Spermatogenese. Die Samenkanälchen erreichten einen Punktwert zwischen 8 und 9 im Johnson-Score für Hodenbiopsien.	<b>Ausreichend/positiv</b>
<b>2. Shahin et al., 2014</b> , Schweizer Mäuse (M), 30 Tage	2,45 GHz; SAR: 0,018 W/kg	2 Stunden/Tag; 20-Mäuse-Gruppen, 40 Mäuse insgesamt	Eine HFS-Bestrahlung führte zu einer signifikanten Abnahme der Spermienzahl und der Lebensfähigkeit der Spermien, zusammen mit einer Abnahme des Durchmessers der Samenkanälchen und einer Degeneration derselben. In der exponierten Gruppe von Mäusen wurde außerdem eine Reduktion der $3\beta$ -HSD-Aktivität der Hoden und der Plasmatestosteronspiegel beobachtet. In der mit MW bestrahlten Gruppe von Mäusen wurde eine höhere Expression von i-NOS in den Hoden beobachtet ( $p < 0,01$ ).	<b>Ausreichend/positiv</b>
<b>3. Zhu et al., 2015</b> , ICR-Mäuse (SPF) (M erwachsen), [12 jungfräuliche Weibchen pro Männchen wurden für die Paarung verwendet], 15 Tage	900 MHz; 1,6 mW/cm <sup>2</sup> , ganzkörpergemittelte SAR 0,731 W/kg; akute Bestrahlung mit 2 Gy aus einer Co60-Quelle bei einer Dosisleistung von 1 Gy pro Minute als positive Kontrolle	4 Stunden/Tag; 10 männliche Mäuse pro Expositionsgruppe. Nach der Exposition wurde jede männliche Maus in einem separaten Käfig mit 3 jungfräulichen Weibchen zur Paarung gehalten. Nach 7 Tagen wurde jedes Männchen von den Weibchen getrennt und in einen neuen Käfig mit einer neuen Gruppe von 3	Keine statistisch signifikante Wirkung auf das durchschnittliche Körpergewicht und das Hodengewicht bei männlichen Mäusen, die HFS ausgesetzt waren. Vergleich zwischen den Weibchen, die mit HF- und scheinexponierten Mäusen verpaart wurden: nicht signifikante Unterschiede bei den Prozentsätzen von Schwangerschaften sowie lebenden und toten Einnistungen. Es gab keine signifikanten Unterschiede bei den berechneten Gesamteinnistungen sowie den lebenden und toten Einnistungen pro trächtigem Tier ( $p > 0,05$ ).	<b>Ausreichend/negativ</b>

		jungfräulichen Weibchen zur Paarung in der zweiten, dritten und vierten Woche überführt (insgesamt: 12 Weibchen pro Männchen).		
--	--	--	--	--

Tabelle 21– Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Reproduktionstoxizität bei männlichen Mäusen (450–6 000 MHz) (Fortsetzung b)

Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Expositionsdauer	Frequenz, Intensität Andere Co-Expositionen	Expositionszeit, Anzahl der Tiere	Beobachtete Wirkungen	Anmerkungen
4. Pandey et al., 2017, Schweizer Albino-Mäuse (M), 35 Tage	900 MHz (GSM), 0,0054–0,0516 W/kg	4 oder 8 Stunden/Tag, 7 Tage/Woche, 15/Gruppe	Erhöhter Schädigungsindex in den Keimzellen, Defekte am Spermienkopf, verringerte Spermienzahl, Arrest im prämeiotischen Stadium der Spermatogenese, Verlust unreifer Keimzellen in das Lumen der Hodenkanälchen, Epithelschwund und Maturationsarrest ( $p < 0,05$ )	<b>Ausreichend/positiv</b>
5. Pandey et al., 2018, Schweizer Albino-Mäuse (M), 35 Tage	900 MHz (GSM), (Melatonin 5 mg/kg Körpergewicht/Tag), 0,0054–0,0516 W/kg	6 Stunden/Tag, 7 Tage/Woche, 15/Gruppe	Verminderte Spermienzahl, Anomalien des Spermienkopfes, umfangreiche DNA-Schäden in den Keimzellen, Arrest in den prämeiotischen Stadien der Spermatogenese, übermäßige Bildung von freien Radikalen, die zu histologischen und morphologischen Veränderungen in den Hoden und der Morphologie der Keimzellen führen ( $p < 0,05$ )	<b>Ausreichend/positiv (ohne Melatoninsupplementierung behandelte Gruppe)</b>
6. Shahin et al., 2018, Schweizer Albino-Mäuse (M), 15, 30 und 60 Tage	2,45 GHz MW, Ganzkörper-SAR 0,0146 W/kg	2 Stunden/Tag; 10 Mäuse/Gruppe	Die Exposition gegenüber MW mit 2,45 GHz führt zu einer veränderten Hoden-Histoarchitektur, einem verringerten Durchmesser der Samenkanälchen sowie einer Verminderung der Spermienzahl, der Lebensfähigkeit der Spermien und des Serum-Testosteronspiegels. In den Hoden der exponierten Tiere wurde ein von der Dauer abhängiger Anstieg der Gesamt-ROS-, NO- und MDA-Werte beobachtet. Die Exposition gegenüber HFS führt zu einer veränderten Expression von p53, Bax, Bcl-xL, Bcl-2, Pro-Caspase-3, aktiver Caspase-3 und PARP-1. Es wurde festgestellt, dass die Expression von Cytochrom c in den Hoden aller HFS-exponierten Mäuse im Vergleich zu den Kontrollen in Abhängigkeit von der Dauer signifikant erhöht war ( $p < 0,05$ ).	<b>Ausreichend/positiv</b>



Tabelle 22 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Reproduktionstoxizität bei weiblichen Mäusen (450–6 000 MHz) (a)

Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Expositionsdauer	Frequenz, Intensität Andere Co-Expositionen	Expositionszeit, Anzahl der Tiere	Beobachtete Wirkungen	Anmerkungen
7. Gul et al., 2009, Schweizer Mäuse (F), 21 Tage	NR (Mobiltelefon 11 Stunden und 45 Minuten lang im Standby-Modus und 15 Minuten lang im Anrufmodus), NR	12 Stunden/Tag, 7 Tage/Woche, 30/Gruppe	Verminderte Anzahl von Follikeln in den Eierstöcken der Mäuse, vermindertes Eierstockvolumen ( $p < 0,01$ )	<b>Ausreichend/mehrdeutig</b>
8. Shahin et al., 2017, Schweizer Albino-Mäuse (W), 4 Monate (120 Tage)	1 800 MHz, Nokia 100 (2G, GSM) Dualband-Mobiltelefone, in verschiedenen Betriebsarten (Wählen, Empfangen, Standby und Ausschalten)	3 Stunden/Tag; 24 Mäuse/Gruppe, 2 Versuche mit je 12 Mäusen/Gruppe, insgesamt 48 weibliche Mäuse.	Die Exposition bewirkte einen signifikanten Anstieg von ROS, NO, Lipidperoxidation, Gesamtcarbonylgehalt und Serumcorticoosteron in Verbindung mit einer signifikanten Abnahme der antioxidativen Enzyme in Hypothalamus, Eierstöcken und Uterus von Mäusen. Verglichen mit den Kontrollen wiesen die exponierten Mäuse eine geringere Anzahl an sich entwickelnden und reifen Follikeln sowie an Gelbkörpern auf. Signifikant verringerte Serum-Gehalte von hypophysären Gonadotropinen (LH, FSH) sowie Sexualsteroiden (E2 und P4) und eine signifikante Verminderung der Expression von SF-1, StAR, P-450 <sub>sc</sub> , 3 $\beta$ -HSD, 17 $\beta$ -HSD, Cytochrom-P-450 -Aromatase, ER- $\alpha$ und ER- $\alpha$ wurden in allen exponierten Gruppen von Mäusen im Vergleich zur Kontrolle beobachtet ( $p < 0,01$ )	<b>Ausreichend/positiv</b>

Tabelle 23 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Reproduktionstoxizität bei männlichen Ratten (450–6 000 MHz) (a)

Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Expositionsdauer	Frequenz, Intensität Andere Co-Expositionen	Expositionszeit, Anzahl der Tiere	Beobachtete Wirkungen	Anmerkungen
9. Ozguner et al., 2015, Sprague-Dawley-Ratten (M), 4 Wochen	900 MHz, 2 Watt Spitzenleistung, mittlere Leistungsdichte $1 \pm 0,4$ mW/cm <sup>2</sup>	30 Minuten/Tag, 5 Tage/Woche; 10 Ratten/Gruppe, 20 Ratten insgesamt	Das Gewicht der Hoden, der Hodenbiopsie-Score und der prozentuale Anteil des interstitiellen Gewebes am gesamten Hodengewebe waren in der HFS-Gruppe im Vergleich zu den Kontrollen nicht signifikant unterschiedlich. Der Durchmesser der Samenkanälchen und die mittlere Höhe des Keimepithels waren in der HFS-Gruppe signifikant geringer ( $p < 0,05$ ). In der HFS-Gruppe fand ein signifikanter Rückgang des Gesamttestosteronspiegels im Serum statt ( $p < 0,05$ ). Daher gab es in der HFS-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe einen unbedeutenden Rückgang der LH- und FSH-Plasmaspiegel ( $p > 0,05$ ).	<b>Ausreichend/positiv</b>
10. Lee et al., 2010, Sprague-Dawley-Ratten (M), 12 Wochen	848,5 MHz, 2,0 W/kg (CDMA)	90 Minuten/Tag, 5 Tage/Woche, 20/Gruppe	Keine statistisch signifikante Veränderung (NS) bei Hodenfunktion und Spermatogenese ( $p > 0,05$ )	<b>Ausreichend/negativ</b>
11. Imai et al., 2011, Sprague-Dawley-Ratten, 5 Wochen	1 950 MHz (CDMA), 0,4 W/kg, 0,08 W/kg	5 Stunden/Tag, 7 Tage/Woche, 24/Gruppe	Keine statistisch signifikante Veränderung (NS) der Hodenfunktion ( $p > 0,05$ )	<b>Ausreichend/negativ</b>
12. Meo et al., 2011, Wistar-Ratten, 12 Wochen	900, 1 800 GHz (GSM). Intensitäten: NR	30 Minuten/Tag, 60 Minuten/Tag, 7	Hypospermatogenese und Maturationsarrest in den Hoden (Signifikanz: NR)	<b>Ausreichend/mehrdeutig</b>



		Tage/Woche 16/Gruppe (Kontrollgruppe: 8)		
<b>13. Al-Damegh, 2012,</b> Wistar-Albino-Ratten (M), 14 aufeinanderfolgende Tage	900/1800/1900 MHz (GSM), 0,9 W/kg, Vitamin C (40 mg/kg/Tag) oder Vitamin E (2,7 mg/kg/Tag)	15, 30 und 60 Minuten/Tag; 30/Gruppe exponierter Ratten; 10/Gruppe von Kontrollratten	Es war eine signifikante Zunahme des Durchmessers der Samenkanälchen mit einer desorganisierten Unterbrechung des Samenzyklus in den Samenkanälchen in der HFS-exponierten Gruppe zu verzeichnen. Die Konzentrationen von konjugierten Dienen und Lipidhydroperoxid sowie die Katalaseaktivität im Serum und im Hodengewebe stiegen um das 3-Fache an, während die Glutathion- und Glutathionperoxidase-Werte im Serum und im Hodengewebe bei Tieren mit HFS-Exposition um das 3- bis 5-Fache abnahmen ( $p < 0,05$ ).	<b>Ausreichend/positiv</b>
<b>14. Celik et al., 2012,</b> Wistar-Kyoto-Ratten (M), 3 Monate	NR, Mobiltelefon-Strahlung, SAR 1,58 W/kg	24 Stunde/Tag (30 M exponiert, 15 M Kontrollen)	Keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Hodengewicht, Durchmesser der Samenkanälchen und histopathologischen Untersuchungen ( $p > 0,05$ ). Elektronenmikroskopische Analyse: Die Dicke der Membrana propria und der Gehalt an Kollagenfasern nahmen zu, und die Kapillaren erweiterten waren bei den exponierten Tieren erweitert. Die allgemeine Vakuolisierung im Zytoplasma der Sertoli-Zellen, das Wachstum elektronendichter Strukturen und das Vorhandensein großer Lipidtröpfchen sind auffallende Ergebnisse dieser Studie.	<b>Unzureichend</b>
<b>15. Lee et al., 2012,</b> Sprague-Dawley-Ratten (M), 12 Wochen	848,5 MHz (CDMA), 1 950 MHz (WCDMA), 4,0 W/kg	45 Min/Tag, 5 Tage/Woche, 20/Gruppe (im Käfig gehaltene Kontrollgruppe: 5)	Keine statistisch signifikante Veränderung (NS) bei Hodenfunktion und Spermatogenese ( $p > 0,05$ )	<b>Ausreichend/negativ</b>
<b>16. Ozlem-Nisbet et al., 2012,</b> Albino-Wistar- Ratten (M), 90 Tage	1 800 und 900 MHz, SAR: 3,00, 2,7, 2,2, 1,2 mW/kg bei 900 MHz für 10, 20, 50, 70 Tage alte Ratten: 0,053, 0,046, 0,011, 0,011 mW/kg bei 1 800 MHz für 10, 20, 50, 70 Tage alte Ratten	2 Stunden/Tag; 11 Ratten/Gruppe	Das mittlere Gesamtplasmatestosteron war in beiden Studiengruppen ähnlich und lag deutlich höher als bei den Ratten der Scheinkontrolle. Der Prozentsatz der Spermienbeweglichkeit in den Nebenhoden war in der 1 800-MHz-Gruppe signifikant höher ( $p < 0,05$ ). Die Rate der morphologisch normalen Spermien war in der 900-MHz-Gruppe höher und das Auftreten von Schwanzanomalien und der Gesamtprozentsatz der Anomalien waren niedriger ( $p < 0,05$ ). Die histopathologischen Parameter waren in der 1 800-MHz-Gruppe signifikant höher ( $p < 0,05$ ).	<b>Ausreichend/positiv</b>

Tabelle 23 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Reproduktionstoxizität bei männlichen Ratten (450–6 000 MHz) (Fortsetzung b)

Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Expositionsdauer	Frequenz, Intensität Andere Co-Expositionen	Expositionszeit, Anzahl der Tiere	Beobachtete Wirkungen	Anmerkungen
<b>17. Bin-Meferij El-kott et al., 2015,</b> Sprague-Dawley-Ratten, 8 Wochen	900 MHz für GSM, NR- Intensität, 200 mg/kg wässriger Extrakt von Moringa- oleifera-Blättern	1 Stunde/Tag (15 M mit Exposition gegenüber HF + MO- Extrakt; 15 M mit Exposition gegenüber HF; 15 M mit Exposition gegenüber	Statistisch signifikante Abnahme der Spermienzahl in den Nebenhoden in der exponierten Gruppe ( $p < 0,001$ ). Signifikante Abnahme der Spermienbeweglichkeit. Signifikante ( $p < 0,001$ ) Zunahme der prozentualen Häufigkeit von toten Spermien bei exponierten Tieren. Insgesamt wurden in den Hoden der exponierten Ratten im Vergleich zu den entsprechenden Kontrolltieren eine Hypospermatogenese und ein Maturationsarrest bei den Spermatozoen beobachtet.	<b>Ausreichend/ positiv</b>

		MO-Extrakt; 15 M Kontrollen)		
<b>18. Ozguner et al., 2015</b> , Sprague-Dawley-Ratten (M), 50 Tage (ab einem Alter von 10 Wochen)	900 MHz, SAR 0,66 W/kg	2 Stunde/Tag (24 M exponiert; 24 M Kontrollen)	Signifikanter Anstieg des Prozentsatzes der apoptotischen Spermien um 91,42 % bei den exponierten Tieren; Signifikanter Anstieg der ROS-Konzentration um 46,21 %; Signifikante Abnahme der TAC um 28 %; Signifikante Abnahme der Protein- und mRNA-Expression von Bcl-2 und Anstieg der Expression von Bax, Cytochrom c und Capase-3 (p < 0,05).	<b>Ausreichend/ positiv</b>
<b>19. Saygin et al., 2015</b> , Sprague-Dawley-Ratten (junge M), 30 Tage	2,45 GHz, Ganzkörper-SAR 3,21 W/kg, Gallussäure (GA) ,30 mg/kg/Tag	3 Stunden/Tag; 12 Ratten/Gruppe, 48 Ratten insgesamt	Die Werte für Malondialdehyd und den totalen oxidativen Status (TOS) stiegen in der Gruppe, die nur HFS erhielt, an (p < 0,01). Die Werte für TOS und den Index für oxidativen Stress gingen in der mit GA behandelten Gruppe deutlich zurück (p < 0,05). Die Aktivitäten bezüglich des totalen antioxidativen Status gingen in der nur mit HFS behandelten Gruppe zurück und stiegen in der mit GA behandelten Gruppe an (p < 0,05). Die Werte für Testosteron und den vaskulären endothelialen Wachstumsfaktor sanken in der nur mit HFS behandelten Gruppe was jedoch nicht statistisch signifikant war. Die Testosteron- und VEGF-Werte stiegen in der HFS+GA-Gruppe im Vergleich zur nur mit HFS behandelten Gruppe (p < 0,01) und auch in der GA-Gruppe im Vergleich zur Kontroll- und der nur mit HFS behandelten Gruppe (p < 0,05). Die Färbung von Prostaglandin E2 und Calcitonin Gene-Related Peptide nahm in den Hodenkanälchen der nur mit HFS behandelten Gruppe zu (p < 0,01) und in den Hodenkanälchen der HFS+GA-Gruppe ab (< 0,01). In der nur mit HFS behandelten Gruppe enthielten die meisten Kanälchen weniger Spermien, und die Anzahl der Spermien in den Hodenkanälchen nahm ab. Alle diese Befunde und die Regenerationsreaktion, die durch die mitotische Aktivität gekennzeichnet ist, nahmen in den Zellen der Hodenkanälchen in der HFS+GA-Gruppe zu (p < 0,01).	<b>Ausreichend/ positiv</b>
<b>20. Bilgici et al., 2018</b> , Wistar-Ratten (M), 30 Tage	2,45 GHz, ganzkörpergemittelte SAR 0,0233 W/kg;	1 Stunde/Tag (11 M exponiert, 11 M Kontrollen)	Die IL-6- und CRP-Werte im Serum unterschieden sich bei den exponierten Tieren signifikant (p < 0,05). Signifikanter Unterschied hinsichtlich Nekrose und Spermatogenese bei exponierten Tieren (p < 0,05)	<b>Ausreichend/ positiv</b>
<b>21. Guo et al., 2019</b> , Sprague-Dawley-Ratten (M), 1 Monat	220 MHz (gepulst, moduliert), 0,030 W/kg	1 Stunde/Tag, 7 Tage/Woche, 20/Gruppe	Verminderte Spermienzahl und Überlebensrate der Spermien (p < 0,05), erhöhte Spermienanomalien (NS), erhöhte Expression von gespaltenen Caspase 3 (p < 0,05), Caspase 3 (p < 0,01) und des BAX/BCL2-Verhältnisses (p < 0,01) in den Hoden, verminderter T-Serumspiegel (p < 0,05)	<b>Ausreichend/ positiv</b>

Tabelle 23 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Reproduktionstoxizität bei männlichen Ratten (450–6 000 MHz) (Fortsetzung c)

Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Expositionsdauer	Frequenz, Intensität Andere Co-Expositionen	Expositionszeit, Anzahl der Tiere	Beobachtete Wirkungen	Anmerkungen
<b>22. Yu et al., Experiment 1, 2020,</b> Sprague-Dawley-Ratten (M Erwachsene), 50, 100 oder 150 Tage	Smartphone-emittierte hochfrequente elektromagnetische Strahlung (SHF-EMF), 2 575–2 635 MHz (TD-LTE), 1,05 W/kg.	6 Stunden/Tag (das Smartphone wurde im aktiven Gesprächsmodus gehalten und erhielt über 10 Zyklen hinweg in 10-minütigen Abständen 1 Minute lang einen externen Anruf); 135 Ratten (9 Gruppen zu je 15 Ratten).	Nach 150 Tagen SHF-EMF-Exposition waren Spermienkonzentration, -beweglichkeit, -lebensfähigkeit und normale Morphologie in der SHF-Gruppe vergleichsweise niedriger als in der Kontrollgruppe. Paarungsexperiment bei Ratten, die 150 Tage lang SHF-EMF ausgesetzt waren: das Gewicht der Welpen war in der SHF-Gruppe vergleichsweise niedriger als in der Kontrollgruppe. Morphologische Hodenschädigung: Nach 150 Tagen wurden eine zunehmende Störung der Spermatogenese sowie ein signifikanter Keimzellenverlust beobachtet, zusammen mit einer geringeren Epithelhöhe, einem niedrigeren Johnsen-Score und einem höheren Cosentino-Score. Index für oxidativen Stress in den Hoden: Nach 100 Tagen Exposition wurden nur der CAT- und der GSH-Gehalt in der SHF-Gruppe als signifikant niedriger eingestuft. Nach 150 Tagen waren auch die Werte von MDA, 4-HNE und LPO vergleichsweise höher, während der Gehalt an GSH, SOD und CAT in der SHF-Gruppe geringer war. Apoptose in den Hoden: Nach 100 Tagen war nur die gespaltene Caspase 8 in der SHF-Gruppe signifikant hochreguliert. Nach 150 Tagen war nur der Bcl-2-Spiegel niedriger, während die Spiegel von Bax, gespaltener Caspase 3, Fas, FasL und gespaltener Caspase 8 in der SHF-Gruppe signifikant höher waren ( $p < 0,01$ ).	<b>Ausreichend/ positiv</b>
<b>Experiment 2, 2020,</b> Sprague-Dawley-Ratten (M Erwachsene), 150 Tage	Smartphone-emittierte hochfrequente elektromagnetische Strahlung (SHF-EMF), 2 575–2 635 MHz (TD-LTE), 1,05 W/kg.	6 Stunden/Tag (das Smartphone wurde im aktiven Gesprächsmodus gehalten und erhielt über 10 Zyklen hinweg in 10-minütigen Abständen 1 Minute lang einen externen Anruf); 10 bis 15 Ratten/Gruppe, insgesamt 91 Ratten (7 Gruppen)	Veränderungen des Transkriptionsprofils: 1 663 unterschiedlich exprimierte Gene, von denen 1 446 hochreguliert und 217 herunterreguliert waren. Der Spock3-Wert war bei Ratten, die 150 Tage lang SHF-EMF ausgesetzt waren, höher. Durch eine Hemmung der Spock3-Überexpression wurden die Verschlechterung der Spermienqualität, die Hodenschädigung und die BTB-Störung bei den exponierten Ratten gelindert. Die SHF-EMS-Exposition unterdrückte die MMP2-Aktivität, während sie die Aktivität der MMP14-Spock3-Komplexe erhöhte und die der MMP14-MMP2-Komplexe verringerte; diese Ergebnisse waren durch eine Hemmung von Spock3 reversibel ( $p < 0,01$ ).	<b>Ausreichend/ positiv</b>

Tabelle 24 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: : Entwicklungstoxizität bei Hamstern (450–6 000 MHz) (a)

Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Expositionsdauer	Frequenz, Intensität Andere Co-Expositionen	Expositionszeit, Anzahl der Tiere	Beobachtete Wirkungen	Anmerkungen
<b>23. Lerchl et al., 2008 a, b, c,</b> Dsungarische Zwerghamster (M), 60 Tage	a: 383 MHz (TETRA), b: 900 und c: 1 800 MHz (GSM), SAR 0,08 W/kg	24 Stunden/Tag (120 M exponiert; 120 M scheinexponiert)	a: Die Melatoninwerte in der Zirbeldrüse und im Serum sowie das Gewicht von Hoden, Gehirn, Nieren und Leber wurden hiervon nicht beeinflusst. Signifikanter vorübergehender Anstieg des Körpergewichts um bis zu 4 %; b: Die Melatoninwerte in der Zirbeldrüse und im Serum sowie das Gewicht von Hoden, Gehirn, Nieren und Leber wurden hiervon nicht beeinflusst. Signifikanter nicht vorübergehender Anstieg des Körpergewichts um bis zu 6 %; c: Die Melatoninwerte in der Zirbeldrüse und im Serum sowie das Gewicht von Hoden, Gehirn, Nieren und Leber wurden hiervon nicht beeinflusst. keine Auswirkungen auf das Körpergewicht;	<b>Ausreichend/negativ</b>

Tabelle 25 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Entwicklungstoxizität bei Mäusen (450–6 000 MHz) (a)

Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Expositionsdauer	Frequenz, Intensität Andere Co-Expositionen	Expositionszeit, Anzahl der Tiere	Beobachtete Wirkungen	Anmerkungen
<b>24. Finnie et al. a, b (2006), c (2009),</b> BALB/c-Mäuse (F)	900 MHz, 4 W/kg	1 Stunde/Tag, 7 Tage/Woche, 10/Gruppe	Keine statistisch signifikante Veränderung (NS) bei: (a): Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke im unreifen Gehirn des fetalen Kopfes, (b): unmittelbarer früher Expression des Gens c-Fos als Marker für neuronalen Stress (c): Stressreaktion durch Induktion von Hitzeschockproteinen	<b>Ausreichend/negativ</b>
<b>25. Lee et al., 2009,</b> ICR-Mäuse (W Zuchttiere; W und M Föten), Trächtigkeitstag 1–17	CDMA (849 MHz) und WCDMA (1,95 GHz), SAR 2,0 W/kg über 2 Expositionszeiträume hinweg (insgesamt 4 W/kg)	2 Expositionen 45 Minuten/Tag, mit einem 15-minütigem Abstand (14 W scheinexponiert; 17 W CDMA-exponiert; 20 W CDMA+WCDMA-Scheinkontrollen; 20 W CDMA+WCDMA-exponiert). Kurze tägliche Exposition	Die gleichzeitige experimentelle Exposition gegenüber CDMA- und WCDMA-HF-EMF verursachte bei Mäuseföten keine beobachtbaren schädlichen Wirkungen (Sterblichkeit, Wachstumsverzögerung, Veränderungen der Kopfgröße und andere morphologische Anomalien).	<b>Ausreichend/negativ</b>
<b>26. Fragopoulou et al., 2010,</b> Balb/c -Mus musculus (W Zuchttiere; M und W Nachkommen), 5 Tage vor der	GSM 900 MHz, SAR 0,6–0,94 W/kg	0 (5 W Kontroll-Zuchttiere, 7 M und W Nachkommen); 6 Minuten/Tag (7 W exponiert, 20 M und W Nachkommen);	Statistisch signifikante Veränderungen hinsichtlich der Verknöcherung der Schädelknochen und der Rippen des Brustkorbs sowie der Verschiebung des Meckelschen Knorpels bei den exponierten Tieren (beide Gruppen). Wurfgeschwister, die nach dem Durchbruch der Zähne untersucht wurden, wiesen normale Phänotypen auf.	<b>Ausreichend/positiv</b>

Trächtigkeit; Trächtigkeitstag 1–21		30 Minuten/Tag (7 W exponiert, 20 M und W Nachkommen)		
--	--	---	--	--

Tabelle 25 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Entwicklungstoxizität bei Mäusen (450–6 000 MHz) (Fortsetzung b)

Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Expositionsdauer	Frequenz, Intensität Andere Co-Expositionen	Expositionszeit, Anzahl der Tiere	Beobachtete Wirkungen	Anmerkungen
<b>27. Sambucci et al., 2011</b> , neugeborene C57BL/6-Mäuse (M und W), 5 aufeinanderfolgende Wochen ab dem Tag nach der Geburt	Wi-Fi bei 2,45 GHz, 0,08 oder 4 W/kg SAR	2 Stunden/Tag, 5 Tage/Woche; 16 Neugeborene/Gruppe, mit jeweils 4 zugewiesenen Adoptivmüttern (insgesamt 48 Jungtiere)	Bei Mäusen beiderlei Geschlechts wurden keine Unterschiede hinsichtlich des Körpergewichts und der Entwicklung zwischen den Gruppen festgestellt. Bei den immunologischen Analysen zeigten die Ergebnisse an weiblichen und männlichen neugeborenen Mäusen, die während des frühen postnatalen Lebens exponiert wurden, keine Auswirkungen auf alle untersuchten Parameter ( $p > 0,05$ ), mit einer Ausnahme: eine verringerte IFN- $\gamma$ Produktion in Milzzellen von männlichen (nicht weiblichen) Mäusen, die gegenüber Mikrowellen (MW) exponiert wurden (SAR 4 W/kg), im Vergleich zu scheinexponierten Mäusen ( $p < 0,05$ ).	<b>Ausreichend/negativ</b>
<b>28. Zhang et al., 2015</b> , CD1-Mäuse (M und W), In-utero-Exposition, während der gesamten Trächtigkeit (Tage 3,5–18)	9,417 GHz, SAR: 2,0 W/kg	12 Stunden/Tag; 4 trächtige weibliche Mäuse pro Gruppe. Um Trächtigkeiten zu erhalten, wurden zuvor folgende Schritte durchgeführt Es wurden 12 Zuchtkäfige eingerichtet, die jeweils eine weibliche CD1-Maus und zwei männliche CD1-Mäuse im Alter von 6 Wochen enthielten.	Die Mäuse unterschieden sich im Test im freien Gelände (Open Field Test, OFT) nicht hinsichtlich ihrer motorischen Fähigkeiten. Die Häufigkeit des Eintritts in die Mittelzone und die dort verbrachte Zeit waren in der behandelten Gruppe jedoch geringer als in der Kontrollgruppe. Die exponierten Mäuse zeigten ein erhöhtes angstbezogenes Verhalten im Test mit dem erhöhten Plus-Labyrinth (Elevated Plus Maze, EPM). Der Tail-Suspension-Test (TST) und der erzwungene Schwimmtest (Forced Swimming Test, FST) zeigten, dass die HFS-Exposition die Immobilitäts-Zeit signifikant verringerte, was zeigt, dass die Nachkommen der exponierten Mäuse ein verringertes depressionsbezogenes Verhalten aufweisen. Im Test mit dem Morris-Wasserlabyrinth (Morris Water Maze, MWM) zeigten die behandelten Mäuse eine progressive Abnahme der Fluchtlatenz. Am vierten und fünften Tag der MWM verbrachten nur die männlichen Mäuse in der gegenüber Strahlung exponierten Gruppe mehr Zeit mit der Suche nach der Plattform, was auf eine verminderte räumliche Lernfähigkeit hinweist ( $p < 0,01$ ).	<b>Ausreichend/positiv</b>
<b>29. Fatehi et al., 2018</b> , NMRI-Mäuse (M und W Nachkommen), 30 Tage	900 MHz, Intensität NR	Mobiltelefon im „Standby-Modus“: 1,5 und 10 Stunden/Tag (Gruppe 2,3,4); Mobiltelefon im „aktiven Modus“: 1 Stunde/Tag (Gruppe 5); 20 Mäuse/Gruppe	Bestrahlte Mäuse (unabhängig von der Expositionsdauer) wiesen eine signifikante Verlängerung der Trächtigkeitsdauer auf. Außerdem wurde eine signifikante Verlängerung der Trächtigkeitsdauer festgestellt, wenn das Mobiltelefon vom ausgeschalteten in den aktiven Modus wechselte. Eine HFS-Exposition führt zu einer signifikanten Abnahme der Zahl der neugeborenen Mäuse im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die Ergebnisse zeigten auch, dass die Erhöhung der Expositionszeit von 1 Stunde pro Tag (Gruppe 2) auf 10 Stunden pro Tag (Gruppe 4) im Standby-Modus einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Anzahl der Neugeborenen bewirkte ( $p < 0,05$ ).	<b>Ausreichend/positiv</b>

Tabelle 25 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Entwicklungstoxizität bei Mäusen (450–6 000 MHz) (Fortsetzung c)

Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Expositionsdauer	Frequenz, Intensität Andere Co-Expositionen	Expositionszeit, Anzahl der Tiere	Beobachtete Wirkungen	Anmerkungen
<b>30. Nelson et al., 1991, 1994, 1997, 1997.</b> Sprague-Dawley-Ratten (W). (10, 20, 30 Minuten)	10 MHz (2-Methoxyethanol bei 20, 40, 60, 75, 80, 100, 120, 125, 140 oder 150 mg/kg), 0,8–6,6 W/kg. Thermische Effekte (Temp. 42 °C)	10, 20, 30 Minuten; 10–27/Gruppe	Synergismus zwischen der Verabreichung von HFS und 2ME bei der Induktion von teratogenen Effekten: erhöhte Inzidenz externer Fehlbildungen der Föten ( $p < 0,05$ )	<b>Unzureichend</b>
<b>31. Nelson et al., 2001,</b> Sprague-Dawley-Ratten (W), 60 Minuten	10 MHz (Methanol 2, 3 g/kg); 0,8–6,6 W/kg Thermische Effekte (Temp. 42 °C)	60 Minuten; 10/Gruppe	Erhöhte Inzidenz resorbierter Föten ( $p < 0,05$ ). Keine Synergieeffekte.	<b>Unzureichend</b>
<b>32. Ogawa et al., 2009,</b> Sprague-Dawley-Ratten (W), 10 Tage	1 950 MHz (CDMA), 0,4 W/kg	90 Minuten/Tag, 7 Tage/Woche, 20/Gruppe	Keine statistisch signifikante Veränderung (NS) bei: Meilensteinen der Geschlechtsreife, lebensfähiger Wurfgröße/Lebendgeburtenindex, Neugeborenenwachstum, Indizes für das Überleben von Neugeborenen, Geschlechterverhältnis in der Nachkommenschaft, physiologischen Endpunkten, die spezielle Toxizitäten hinsichtlich Schwangerschaft und Laktation aufzeigen ( $p > 0,05$ ).	<b>Ausreichend/negativ</b>
<b>33. Sommer et al., 2009,</b> C57BL-Mäuse (M, W), Mehrgenerationenstudie	1 966 MHz (UMTS), 0,08, 0,4, 1,3 W/kg	24 Stunden/Tag, 7 Tage/Woche, 128 M und 256 W über vier Generationen (1 M und 2 W pro Käfig)	Keine statistisch signifikante Veränderung (NS) bei: lebensfähiger Wurfgröße/Lebendgeburtensindex, Neugeborenenwachstum, Indizes für das Überleben von Neugeborenen, pränataler Sterblichkeit, Bewertung der Spermienqualität, Gewicht und Morphologie der Fortpflanzungsorgane, Paarungs- und Fruchtbarkeitsindizes und Fortpflanzungsergebnissen, Meilensteinen der Geschlechtsreife, Sexualverhalten ( $p < 0,05$ )	<b>Ausreichend/negativ</b>
<b>34. Ozorak et al., 2013,</b> Nachkommen von Albino-Wistar-Ratten (und W trächtigen erwachsenen Tieren), von der Trächtigkeit bis zu einem Alter von 6 Wochen	HFS durch WLAN (2,45 GHz) und Mobiltelefone (900 und 1 800 MHz), Ganzkörper-SAR 0,1 W/kg	1 Stunde/Tag, 5 Tage/Woche; 24 Ratten/Gruppe, 96 Ratten insgesamt	Die Ergebnisse der vierten Woche zeigten, dass das Niveau der Lipidperoxidation in Niere und Hoden und die Werte für Kupfer, Zink, reduziertes Glutathion (GSH), Glutathionperoxidase und den totalen antioxidativen Status (TAS) in der Niere in den HFS-Gruppen abnahmen, während die Eisenkonzentrationen in der Niere sowie die Konzentrationen von Vitamin A und Vitamin E in den Hoden in den HFS-Gruppen anstiegen. Die Ergebnisse der Proben aus der fünften Woche zeigten, dass die Konzentrationen von Eisen, Vitamin A und $\beta$ -Carotin in den Nieren in den HFS-Gruppen zunahmten, während die GSH- und TAS-Werte abnahmen. Die Ergebnisse der sechsten Woche zeigten, dass die Eisenkonzentrationen in den Nieren und das Ausmaß der Lipidperoxidation in den Nieren und Hoden in den HFS-Gruppen zunahmten, während die Kupfer-, TAS- und GSH-Konzentrationen abnahmen ( $p < 0,05$ ). Hinsichtlich der Chrom-, Magnesium- und Mangankonzentrationen in den Nieren gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den vier Gruppen ( $p > 0,05$ ).	<b>Ausreichend/positiv</b>



<p><b>35. Poulletier de Gannes et al., 2013</b>, Wistar-Ratten (M, W), 5 Wochen W, 6 Wochen M</p>	<p>2 450 MHz (Wi -Signal), 0,04 W/kg</p>	<p>1 Stunde/Tag, 6 Tage/Woche, 12/Gruppe</p>	<p>Keine statistisch signifikante Veränderung (NS) bei: Anzahl der lebenden und toten Föten pro Uterushorn, Anzahl und Lage der frühen und späten Resorptionsstellen in jedem Uterushorn, Verteilung der Einnistungsstellen auf jedem Uterushorn (Signifikanz: NR).</p>	<p><b>Ausreichend/negativ</b></p>
---	--	--	---	-----------------------------------

Tabelle 26 – Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Entwicklungstoxizität bei Ratten (450–6 000 MHz) (a)

<p>Referenz, Stamm, Art (Geschlecht), Expositionsdauer</p>	<p>Frequenz, Intensität Andere Co-Expositionen</p>	<p>Expositionszeit, Anzahl der Tiere</p>	<p>Beobachtete Wirkungen</p>	<p>Anmerkungen</p>
<p><b>36. Celik et al., 2016</b>, Albino-Wistar-Ratten (W Zuchttiere, M Nachkommen), von der Trächtigkeit bis zu einem Alter von 21 Tagen</p>	<p>2,45-GHz-EMS mit 217-Hz-Pulsen, SAR 0,1 W/kg</p>	<p>1 Stunde/Tag für 5 Tage/Woche (8 W exponierte Zuchttiere, 24 M exponierte Nachkommen; 8 W Kontroll-Zuchttiere, 24 Kontroll-Nachkommen);</p>	<p>Im Gehirn und in der Leber von sich entwickelnden Ratten wurde aufgrund einer verringerten Konzentration von GSH-Px, GSH und antioxidativen Vitaminen oxidativer Stress beobachtet. Darüber hinaus reagierte das Gehirn hinsichtlich der Entwicklung von Neugeborenen empfindlicher auf oxidative Schäden als die Leber (<math>p &lt; 0,05</math>).</p>	<p><b>Ausreichend/positiv</b></p>
<p><b>37. Shirai et al., 2016</b>, Sprague-Dawley-Ratten (W Erwachsene und ihre Nachkommen), Muttertiere: von Trächtigkeitstag 7 bis zum Absetzen; F1-Nachkommen-Ratten von der Geburt bis zu einem Alter von 6 Wochen</p>	<p>HFS mit acht verschiedenen Kommunikationssignalen (zwei im 800-MHz-Band, zwei im 2-GHz-Band, eines im 2,4-GHz-Band, zwei im 2,5-GHz-Band und eines im 5,2-GHz-Band), 0,4 W/kg, wobei jede Frequenz 0,05 W/kg beitrug</p>	<p>20 Stunden/Tag; Muttertiere: 12 Ratten/Gruppe; 46–48 F1-Jungtiere pro Gruppe.</p>	<p>Bei den Muttertieren oder F1-Nachkommen, die der HFS ausgesetzt waren, oder bei den F2-Nachkommen wurden bei keinem der untersuchten Parameter abnorme Befunde beobachtet (<math>p &gt; 0,05</math>).</p>	<p><b>Ausreichend/negativ</b></p>
<p><b>38. Stasinopoulou et al., 2016</b>, Wistar-Ratten (W erwachsene Ratten und ihre Nachkommen), trächtige Ratten während der gesamten Trächtigkeit und eine Gruppe von Muttertieren und deren Nachkommen für weitere 22 Tage</p>	<p>1 880–1 900 MHz, Ganzkörper-SAR im Bereich von 0,016 bis 0,020 W/kg</p>	<p>12 Stunden/Tag; 40 Ratten/Gruppe</p>	<p>Die HFS-Exposition verursachte bei den Embryonen am 17. Trächtigkeitstag einen Anstieg der Herzfrequenz. Es wurden signifikante Veränderungen der somatometrischen Merkmale der Neugeborenen beobachtet. Der Verlust von Pyramidenzellen und die Überexpression von Glia Fibrillary Acidic Protein wurden in der CA4-Region des Hippocampus von 22 Tage alten Jungtieren festgestellt, die entweder während des pränatalen Lebens oder sowohl prä- als auch postnatal bestrahlt wurden (<math>p &gt; 0,05</math>).</p>	<p><b>Ausreichend/positiv</b></p>

<b>39. Othman et al., 2017,</b> Albino-Wistar-Ratten, Trächtigkeitsdauer (19–20 Tage)	2,45 GHz durch Wi-Fi, Intensität NR (Wi-Fi: Die exponierte Gruppe wurde in einem Abstand von 25 cm von den Antennen positioniert. D- Link DWL-3200 AP im 802.11 g-Modus und WPA2- Netzwerkschutz)	2 Stunden/Tag; 63 Kontroll- Nachkommen und 37 behandelte Nachkommen, 5 erwachsene trächtige exponierte Ratten/Gruppe	Die WiFi-Exposition in der Gebärmutter beeinträchtigte die neurologische Entwicklung der Nachkommen in den ersten 17 postnatalen Tagen, ohne dass das emotionale und motorische Verhalten im Erwachsenenalter verändert wurde. Außerdem induzierte die pränatale WiFi-Exposition ein Ungleichgewicht des oxidativen Stresses im Gehirn (Anstieg des Malondialdehyd-Gehalts und des Wasserstoffperoxid-Gehalts und eine Abnahme der Katalase(CAT)- und Superoxid-Dismutase-Aktivitäten) im Alter von 28, aber nicht von 43 Tagen, außerdem beeinflusste die Exposition die Acetylcholinesterase-Aktivität sowohl auf Hirn- als auch auf Serumsebene ( $p < 0,05$ ).	<b>Ausreichend/positiv</b>
--	--	---	--	----------------------------

Tabelle 27 (zusammenfassende Tabellen 21–26 [a,b]) – Gesammelte Daten für experimentelle Studien zu Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung (FR1: 450–6 000 MHz)

Studien insgesamt	39								
Ausreichende Studien	37								
Art der Studie	Maus					Ratte			
	Beobachtete Wirkungen	Ausreichende Studien insgesamt*	Positive Ergebnisse	Mehrdeutig Ergebnisse	Negative Ergebnisse	Ausreichende Studien insgesamt*	Positive Ergebnisse	Mehrdeutig Ergebnisse	Negative Ergebnisse
Fortpflanzungsfähigkeit – männliche Fertilität	Samenqualität Histopathologische Veränderungen Fertilität	9	6		3	14	10	1	3
Fortpflanzungsfähigkeit – weibliche Fertilität	Fertilität Trächtigkeitsdauer Anzahl der Jungtiere Gewicht der Würfe	2	1	1					
Entwicklung – weibliche Würfe	Neurologische/verhaltensbezogene Auswirkungen Fötales Wachstum Hämatochemische Eigenschaften der Würfe	10	4		6	4	3		1

\*Einige der Studien umfassen mehr als einen Endpunkt. Eine Studie (Ref. 23) wurde an dsungarischen Hamstern durchgeführt und wurde als ausreichend/negativ eingestuft.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE VON STUDIEN ZU DEN WIRKUNGEN AUF DIE FORTPFLANZUNGSFÄHIGKEIT/ENTWICKLUNG BEI VERSUCHSTIEREN (FR1: 450 bis 6 000 MHz) (Tabelle 27)

Aus der vorliegenden Überprüfung wurden 39 Studien zu Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren ausgewählt. Es wurden 20 Studien an Mäusen, 18 an Ratten und 1 an Hamstern durchgeführt. In ausreichenden Studien wurden verschiedene Endpunkte sowohl bei Mäusen als auch bei Ratten untersucht. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse findet sich in Tabelle 27.

Die Ergebnisse der 37 ausreichenden Studien lauteten wie folgt:

### Fortpflanzung, männliche Fertilität (Samenqualität, histopathologische Veränderungen, Fertilität).

Es wurden dreiundzwanzig ausreichende Studien durchgeführt, um mögliche nichtthermische schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzung bei männlichen Ratten und Mäusen zu untersuchen. Bei Mäusen zeigten 6 von 6 ausreichenden Studien einen positiven Zusammenhang zwischen Exposition und schädlichen Wirkungen (Ref.: 1, 2, 4, 5, 6, 8) und 1 war negativ (Ref.: 3). Bei Ratten waren 10 von 14 Studien positiv (Ref.: 9, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23), 1 zeigte mehrdeutige Ergebnisse (Ref.: 12), 3 waren negativ (Ref.: 10, 11, 15).

Die überzeugendste Evidenz ist die statistisch signifikante Verschlechterung der Spermienqualität, sowohl bei Ratten als auch bei Mäusen. Für dieses Ergebnis gibt es *ausreichende* Evidenz für einen Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und der Verschlechterung der Spermienqualität.

### Fortpflanzung, weibliche Fertilität (Fertilität, Trächtigkeitsdauer, Anzahl der Jungtiere, Gewicht der Würfe).

Lediglich 2 Studien an Mäusen wurden für die vorliegende Überprüfung als ausreichend erachtet. Eine davon (Ref. 8) zeigte positive Evidenz für einen Zusammenhang zwischen schädlichen Wirkungen und HF-EMF-Exposition, eine war mehrdeutig (Ref.: 7). Die weibliche Fertilität wurde nicht ausreichend untersucht, sodass, wenngleich statistisch signifikante Auswirkungen gefunden wurden, die Evidenz für eine abschließende Bewertung lediglich *begrenzt* ist.

### Entwicklung – Muttertiere und Würfe (hämatochemische Eigenschaften des Wurfes, neurologische und verhaltensbezogene Auswirkungen, fötales Wachstum usw.)

Vierzehn ausreichende Studien wurden im Hinblick auf die Entwicklungsergebnisse analysiert. Von 14 Studien wurden 10 an Mäusen und 4 an Ratten durchgeführt. Bei Mäusen zeigten 4 einen positiven Zusammenhang mit der Exposition (Ref.: 26, 28, 29, 34) und 6 waren negativ (Ref.: 24, 25, 27, 32, 33, 35). Bei Ratten waren 3 von 4 ausreichenden Studien positiv (Ref.: 36, 38, 39) und 1 negativ.

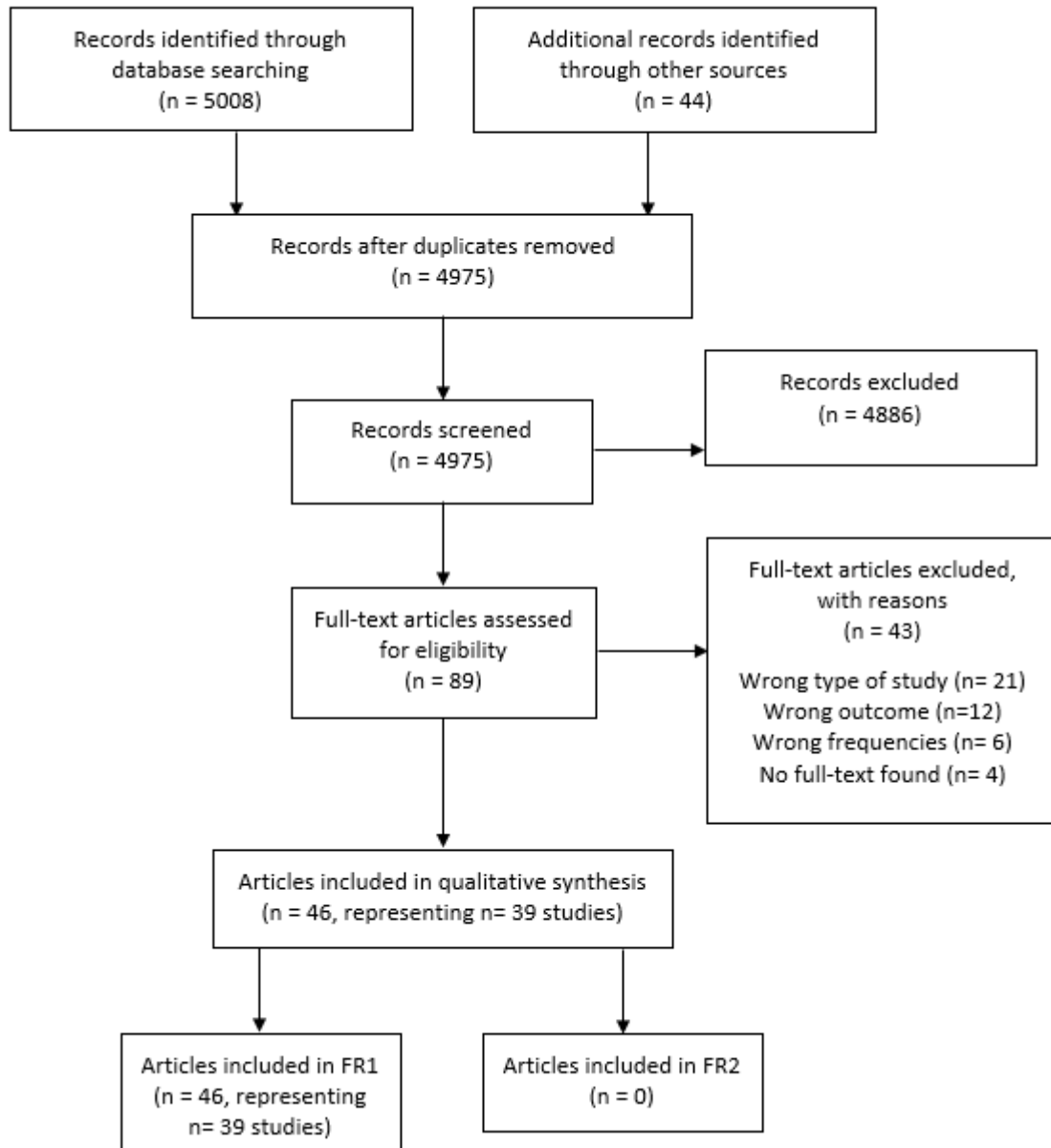
Die Ergebnisse zu diesem Endpunkt sind gemischt (widersprüchlich) und die Evidenz für einen möglichen Zusammenhang zwischen schädlichen Wirkungen auf die Entwicklung und der Exposition gegenüber HF-EMF ist *begrenzt*.

#### 4.2.4 Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren: Studien, die die gesundheitlichen Auswirkungen durch HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW) .

Durch die Datenbankrecherche und andere Quellen wurden 5 052 Artikel ermittelt. Nach Entfernung von Duplikaten (77) und Ausschluss nicht relevanter Artikel (4 886) auf der Grundlage des Titels und der Zusammenfassungen verblieben 89 Artikel. Auf der Grundlage eines Volltext-Screenings wurden 43 weitere Papiere ausgeschlossen, sodass es 46 veröffentlichte Artikel mit Frequenzen gab, die für die Aufnahme in diese qualitative Synthese geeignet waren, und zwar aus 39 entsprechenden Studien. In drei Fällen wurde mehr als ein Artikel veröffentlicht, der Informationen über dieselbe Studie für verschiedene Endpunkte bezüglich der Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung enthielt (Abb. 16).

In dieser Phase wurde außerdem eine Auswahl basierend auf dem Frequenzbereich vorgenommen: von 46 Arbeiten/39 Studien berichteten alle über Expositionen im FR1-Bereich und keine über Expositionen im FR2-Bereich.

Abbildung 16 – Flussdiagramm. Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren (FR2)



## 5. Diskussion

In ihrer jüngsten Veröffentlichung gibt die ICNIRP Folgendes an: „(...) gemeldete schädliche Auswirkungen von HF-EMF auf die Gesundheit müssen von unabhängiger Seite verifiziert werden, von ausreichender wissenschaftlicher Qualität sein und mit dem aktuellen wissenschaftlichen Verständnis übereinstimmen, um als „Evidenz“ zu gelten und für die Festlegung von Expositionsbeschränkungen herangezogen zu werden. In den Richtlinien wird der Begriff „Evidenz“ in diesem Zusammenhang verwendet und der Begriff „belegte Wirkung“ zur Beschreibung der berichteten Wirkungen, die diese Definition von Evidenz erfüllen. Indem man sich bei der Bestimmung der schädlichen Wirkungen auf die Gesundheit auf derartige Evidenz stützt, soll sichergestellt werden, dass die Expositionsbeschränkungen auf echten Wirkungen beruhen und nicht auf unbelegten Behauptungen (...)“ (ICNIRP, 2020a).

Sowohl beim Menschen als auch bei Tiermodellen wurden Wirkungen beobachtet, die von der ICNIRP als „unbelegte Behauptungen“ („unsupported claims“) definiert werden; und einige von ihnen stellen „belegte Wirkungen“ dar, d.h. objektive und relevante Beobachtungen aus epidemiologischen und experimentellen Studien, einschließlich solcher über Krebs und schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzung und Entwicklung.

Epidemiologische Studien können, wenn sie mit ausreichenden Informationen über die Expositionsszenarien und einer korrekten Methodik durchgeführt werden, starke Evidenz für „belegte Wirkungen“ eines Agens, Faktors oder einer Situation liefern. Epidemiologische Studien gehen jedoch häufig mit mehreren Einschränkungen einher, die sich aus dem geringen Stichprobenumfang, der geringen statistischen Aussagekraft und den Störfaktoren ergeben. Zu diesen Einschränkungen gehören: i) Kleine Expositions- oder Nachbeobachtungs- Populationen, die möglicherweise nicht genügen, um eine ausreichende Teststärke zu erzielen; ii) Art, Umfang und Zeitpunkt der Exposition gegenüber dem gefährlichen Agens können zu falscher Einstufung der Exposition und zu falsch negativen Ergebnissen führen; iii) Eindeutige Ergebnisse lassen sich aufgrund von Störfaktoren möglicherweise nur schwer ableiten; iv) Auch methodische Faktoren, wie z. B. Erinnerungsverzerrung oder Publikationsverzerrung, können verhindern, dass eindeutige Ergebnisse erzielt werden; v) Aufgrund der langen Tumoraltenzzeit beim Menschen (d.h. vom Zeitpunkt der ersten Exposition bis zur Feststellung des Tumors) kann es im Schnitt 10–40 Jahre dauern, bis belastbare epidemiologische Ergebnisse ermittelt wurden; iv) Verbreitete und diffuse Exposition gegenüber anderen gefährlichen Agenzien, die in Kombination mit dem untersuchten Agens synergistische oder schützende Wirkungen haben können; vii) Die verbreitete Exposition gegenüber EMF macht es schwierig, eine ausreichend große, nicht exponierte Kontrollgruppe zu ermitteln: dies kann wiederum die Verwendung von Gruppen mit der niedrigsten Exposition als Vergleichskontrollen erforderlich machen, was weniger belastbare Daten liefert.

Die Hauptrichtung der Verzerrung, die sich aus vielen dieser methodischen und anderen Einschränkungen von Studien am Menschen ergibt, tendiert dazu, „falsch negative“ Ergebnisse zu produzieren, d. h. Ergebnisse, die das Agens von seiner Schädlichkeit entlasten, sich aber später als falsch erweisen (Grandjean, 2013).

Obwohl in Studien an Versuchstieren ausreichende Evidenz für die Karzinogenität von HF-EMF gefunden wurde, legen die folgenden Gründe die Vermutung nahe, dass die Ergebnisse für die Risikobewertung beim Menschen wichtig/relevant sind. Tierversuche (Bioassays) sind nur mit wenigen Einschränkungen behaftet und können daher, wenn sie nach den empfohlenen hohen Standards (OECD, 2018b) durchgeführt werden, im Vergleich zu Studien am Menschen relativ schnell und belastbare Evidenz für den Zusammenhang zwischen der Exposition und dem jeweiligen Ergebnis liefern.

Da sich die Latenzzeit proportional zur durchschnittlichen Lebensdauer eines Organismus verhält, ist sie bei den üblicherweise in den Laboratorien verwendeten Nagetieren verhältnismäßig kürzer.



Eine Latenzzeit von einem Jahr bei Ratten entspricht einer Latenzzeit von etwas mehr als 30 Jahren beim Menschen, sodass Tier-Bioassays, selbst über die volle Lebenszeit der Ratte von etwa 2,5 Jahren, im Vergleich zu Studien am Menschen das Feststellen einer Krebserkrankung innerhalb einer relativ kurzen Zeit ermöglichen.

Tier-Bioassays können daher wichtige Informationen über das Krebsrisiko für den Menschen aufgrund der Exposition gegenüber verschiedenen Agenzien liefern. Diese Daten können unser Vertrauen in die Evidenz zu Krebsrisiken beim Menschen aus epidemiologischen Daten stärken.

Zahlreiche für den Menschen krebserregende Stoffe (Karzinogene) wurden zuerst an ausreichend getesteten Labortieren zuverlässig identifiziert, oft viele Jahre bevor der Nachweis beim Menschen erbracht wurde (Huff, 1999); Huff, 2013; Maronpot et al., 2004).

Es kann auch übereinstimmende Evidenz zwischen gut durchgeführten (OECD, 2016) Tier- und Humanstudien über schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit und Entwicklung geben.

Die Bedeutung experimenteller Bioassays für den Schutz der menschlichen Gesundheit ergibt sich auch aus den Risikobeurteilungen für Chemikalien, die auf gut durchgeführten Tierversuchen beruhen. Daher werden Tierstudien verwendet, um die niedrigste Dosis mit beobachtbarer schädlicher Wirkung (Lowest-Observed-Adverse-Effect Level, LOAEL, d. h. die niedrigste Konzentration des chemischen Stoffes; oder manchmal die Dosis ohne beobachtbare schädliche Wirkung [No-Observed-Adverse-Effect Level, NOAEL]) zu ermitteln, die eine schädliche Veränderung der Morphologie, der funktionellen Kapazität, des Wachstums, der Entwicklung oder der Lebensdauer des Zielorganismus verursacht, die sich von nicht exponierten Tieren/Organismen derselben Art und desselben Stamms unter denselben Expositionsbedingungen unterscheidet (Gaylor, 1999).

Bei HF-EMF haben die Ergebnisse epidemiologischer Studien bisher nur „begrenzte Evidenz“ für einen Zusammenhang mit Krebserkrankungen geliefert, vor allem wegen der oben genannten Einschränkungen epidemiologischer Studien und des Fehlens einer ausreichenden unabhängigen Finanzierung derartiger Forschung.

In Studien an Laborversuchstieren, bei denen Störfaktoren und andere Einschränkungen minimal sind, ist die Evidenz für eine krebserregende Wirkung von HF-EMF, insbesondere auf Zellen des peripheren und zentralen Nervensystems, nach Veröffentlichungen des US-amerikanischen NTP und des Ramazzini-Instituts 2018/19 jedoch belastbarer als 2011, und erreicht nun gemäß der IARC-Evaluierung (IARC, 2019) eine „ausreichende“ Evidenz für Tiere.

## 5.1 Krebs und niedrigere Telekommunikationsfrequenzen (FR1: 450 bis 6 000 MHz)

Im Jahr 2011 stuft die Arbeitsgruppe der IARC angesichts der begrenzten Evidenz beim Menschen und bei Versuchstieren HF-EMF als „möglicherweise krebserregend für den Menschen“ (Gruppe 2B) ein. Diese Bewertung wurde von einer großen Mehrheit der Mitglieder der Arbeitsgruppe unterstützt. Die Gesamtbewertung lautete: *Hochfrequente elektromagnetische Felder sind möglicherweise krebserregend für den Menschen* (Gruppe 2B).

Fast 10 Jahre später sind zahlreiche neue Studien veröffentlicht worden, sodass eine Aktualisierung erforderlich ist. Eine Beratergruppe von 29 Wissenschaftlern aus 18 Ländern kam im März 2019 bei der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) zusammen, um Prioritäten für das IARC-Monographienprogramm für den Zeitraum 2020–2024 zu empfehlen, darunter auch HF-EMF (IARC, 2019).

### 5.1.1 HF-EMF (FR 1: 450 bis 6 000 MHz) und Krebs beim Menschen

Im Rahmen unserer Überprüfung der Literatur bis 2020 stellten wir fest, dass seit der Veröffentlichung der IARC-Monographie 102 (IARC, 2013) mehrere neue epidemiologische Studien über den Zusammenhang zwischen HF-EMF und Krebs veröffentlicht wurden, die Evidenz jedoch gemischt bleibt (widersprüchliche Ergebnisse). In der Kohorte der Million Women Study gab es keine Evidenz für ein erhöhtes Risiko für Gliome oder Meningiome. Es wurden ein erhöhtes Risiko für ein Vestibularisschwannom (Neurinom des Hörnervs) bei Langzeitnutzung und eine signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehung festgestellt (Benson et al., 2013).

Eine aktualisierte Nachbeobachtung in der landesweiten dänischen Studie mit Personen mit Mobilfunkverträgen oder Nutzung von Prepaid-Karten ergab kein erhöhtes Risiko für Gliome, Meningiome oder Vestibularisschwannome, auch nicht bei denjenigen, die 10 Jahre oder länger einen Mobilfunkvertrag oder Prepaid-Karten genutzt hatten (Frei et al., 2011); Schüz et al., 2011).

In neuen Berichten aus Fall-Kontroll-Studien, die die Langzeitnutzung untersuchten, wurden ebenfalls unterschiedliche Ergebnisse ermittelt; so berichteten Hardell und Carlberg (2015) sowie Hardell et al. (2013 a, b) über ein erhöhtes Risiko für Gliome und Akustikusneurinome, während Yoon et al. (2015) und Pettersson et al. (2014) keine Evidenz für ein erhöhtes Risiko für diese Tumoren fanden.

Mehrere groß angelegte Studien laufen derzeit noch und dürften in den nächsten Jahren Ergebnisse liefern. Mobi-Kids ist eine multizentrische Fall-Kontroll-Studie über Hirntumoren in der Altersgruppe der 10- bis 24-Jährigen. Cohort Study of Mobile Phone Use and Health (COSMOS) ist eine neue europäische Kohorte erwachsener Nutzer von Mobiltelefonen. Darüber hinaus wird man aktuelle Ergebnisse aus der Million Women Study (IARC, 2019) vorlegen.

Einige Autoren geben an, dass das in verschiedenen epidemiologischen Studien nachgewiesene erhöhte Risiko für Hirntumoren und Neurinome nicht die beobachteten zeitlichen Trends der Inzidenz widerspiegelt, die als informativ für dieses spezielle Thema gelten. Dies entspricht nicht den Ergebnissen, die wir in der neuesten verfügbaren Literatur ermittelt haben.

Im Hinblick auf bösartige Tumoren des zentralen Nervensystems (ZNS) berichtet die Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors (GBD) Study 2016 (GBD 2016, veröffentlicht in Lancet Neurol, 2019) für das Jahr 2019 über eine weltweite Inzidenz von bösartigen ZNS-Tumoren von 4,63 pro 100 000 Personenjahre, was einem Anstieg von 17,3 % zwischen den Jahren 1990 und 2016 entspricht. Die drei Länder mit der höchsten Fallzahl waren China, die USA und Indien.

Ein Anstieg der Inzidenz des Glioblastoma multiforme in den Frontal- und Temporallappen und im Kleinhirn wurde auch in den USA gemeldet (Little et al., 2012 Zada et al., 2012).

Eine Registerstudie in Schweden (Hardell und Carlberg, 2017) zeigte steigende Inzidenzen von Tumoren unbekanntem Typs im Gehirn mit einer höheren Inzidenz zwischen 2007 und 2015 bei beiden Geschlechtern (Abb. 17 und 18).

Abbildung 17 – Das schwedische nationale Register über stationäre Patienten (Quelle: Hardell und Carlberg, 2017): Männer

Joinpoint-Regressionsanalyse der Anzahl der Patienten pro 100.000 Einwohner gemäß dem schwedischen nationalen Register über stationäre Patienten für Männer aller Altersgruppen im Zeitraum 1998–2015 mit der Diagnose D43 = Gewebsneubildung unsicheren oder unbekanntem Verhaltens des Gehirns und des Zentralnervensystems (<http://www.socialstyrelsen.se/statistik/statistikdatabas/diagnoserislutenvard>).

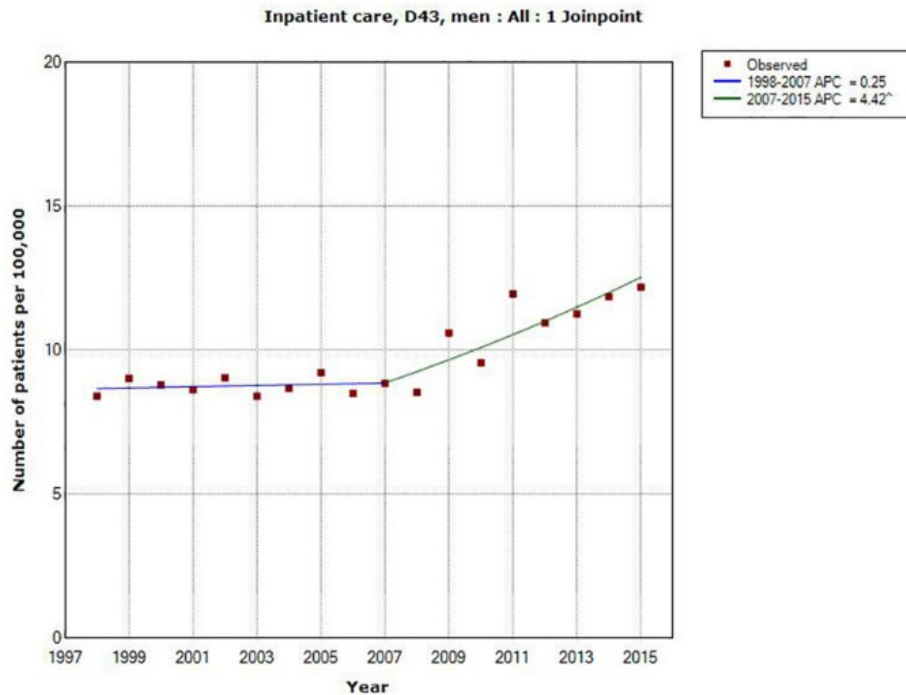
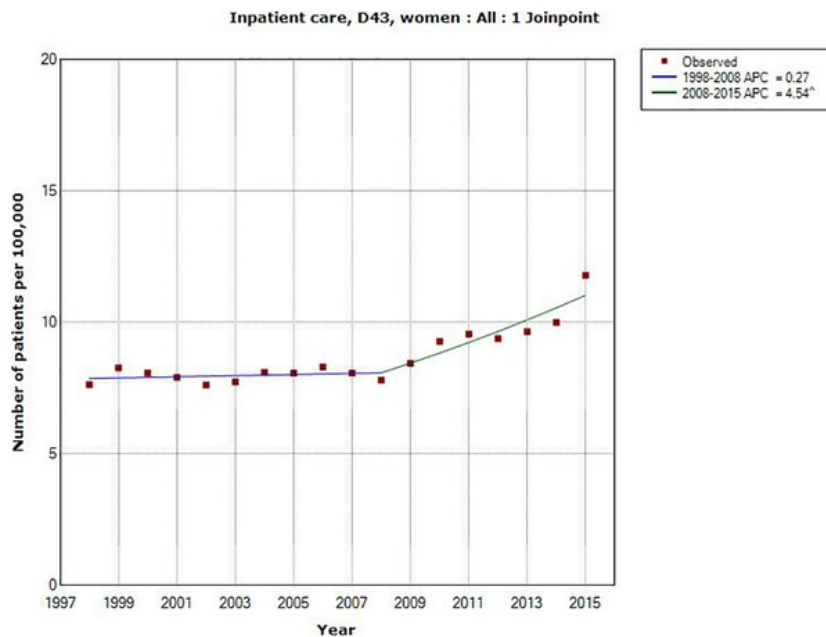


Abbildung 18 – Das schwedische nationale Register über stationäre Patienten (Quelle: Hardell und Carlberg, 2017): Frauen

Joinpoint-Regressionsanalyse der Anzahl der Patienten pro 100.000 Einwohner gemäß dem schwedischen nationalen Register über stationäre Patienten für Frauen aller Altersgruppen im Zeitraum 1998–2015 mit der Diagnose D43 = Gewebsneubildung unsicherer oder unbekannter Verhaltens des Gehirns und des Zentralnervensystems. (<http://www.socialstyrelsen.se/statistik/statistikdatabas/diagnoserislutenvard>).

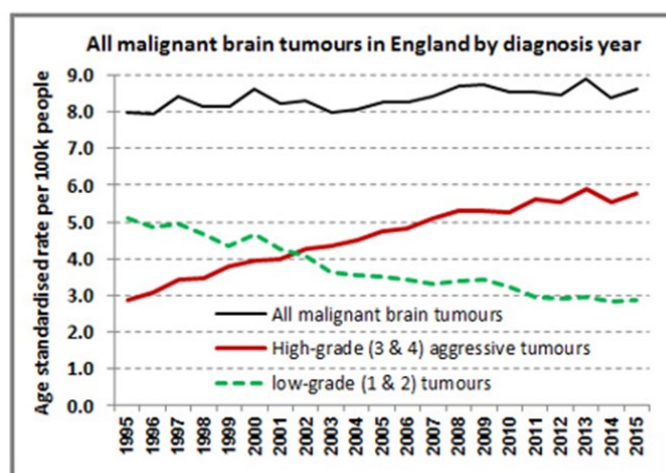


Darüber hinaus berichtet die ANSES (2019) in dem Band „Estimations nationales de l'incidence et de la mortalité par cancer en France métropolitaine entre 1990 et 2018“ über die Entwicklung der Inzidenz (neue Fälle pro Jahr) von histologisch bestätigten Glioblastomen (böartige Tumoren des

Gehirns). Zwischen den Jahren 1990 und 2018 ist die Zahl der Neuerkrankungen pro Jahr sowohl bei Männern als auch bei Frauen gestiegen: dies ist hauptsächlich auf den (umweltbedingten, berufsbedingten) Anstieg des Risikos für diese Krebsart zurückzuführen (ANSES, 2019)

In einer im Vereinigten Königreich durchgeführten Studie über nationale Inzidenzdaten zu bösartigen Hirntumoren wurde ein Anstieg der Raten des aggressiveren Typs festgestellt, der in den epidemiologischen Fallkontrollstudien identifiziert wurde (Abb. 19). Die Autoren prüften die Inzidenz von Hirntumoren in drei „großen Krebsregistern“ über einen Zeitraum von 15 Jahren (1992–2006). Die Studie zeigte, „verminderte Inzidenzen primärer Hirntumoren an allen Orten, mit der bemerkenswerten Ausnahme einer erhöhten Inzidenz von Glioblastoma multiforme (GBM) in den Frontal- und Temporallappen sowie im Kleinhirn“. Der Anstieg der GBM-Inzidenz im Schläfenlappen (der Region des Gehirns, die dem Ohr und potenziell einem Telefon am nächsten ist) wurde in allen drei Registern beobachtet und lag zwischen 1,3 % und 2,3 % pro Jahr, was ein statistisch signifikantes Ergebnis darstellt (Philips et al., 2018).

Abbildung 19 – Trends bei der Inzidenz aller bösartigen Hirntumoren in England  
(Philips et al., 2018)



<http://www.saferemr.com/2018/03/brain-tumor-incidence-trends.html>

Somit lässt sich in Bezug auf unsere Recherchen zu FR1 zusammenfassen, dass in der Literatur positive *begrenzte* Zusammenhänge zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF von Funktelefonen und Gliomen sowie Akustikusneurinomen beim Menschen beobachtet worden sind

### 5.1.2 HF-EMF (FR1: 450 bis 6 000 MHz) und Krebs bei Versuchstieren

Seit der letzten Bewertung der IARC-Monographien im Jahr 2011 wurden neue Daten zur Exposition gegenüber HF-EMF (FR1) bei Versuchstieren veröffentlicht (IARC, 2013).

Die groß angelegte Studie des National Toxicology Program (NTP) der Vereinigten Staaten ergab ein erhöhtes Risiko für bösartige Schwannome des Herzens bei männlichen Ratten mit hoher Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung bei den von Mobiltelefonen verwendeten Frequenzen sowie ein möglicherweise erhöhtes Risiko für bestimmte Tumorarten im Gehirn und in den Nebennieren und ein mehrdeutiges erhöhtes Risiko bei Mäusen oder weiblichen Ratten (NTP, 2018a, b).

In der Studie des Ramazzini-Instituts (RI) hat man außerdem einen statistisch signifikanten Anstieg von Schwannomen des Herzens bei stark exponierten (50 V/m) männlichen Ratten und ein Anstieg von Gliomen bei weiblichen Ratten festgestellt (Falcioni et al., 2018). In der Studie von Lee et al.

(2011) an transgenen Eμ-pim1-Mäusen, die anfällig für Lymphome sind, wurde kein Anstieg der Tumorzinzidenz beobachtet. Lerchl et al. (2015) fanden in einer Studie zur Förderung von Erkrankungen heraus, dass Tumoren der Lunge und der Leber bei den exponierten Tieren signifikant höher waren als bei scheinexponierten Kontrolltieren. Außerdem stellte man fest, dass auch Lymphome durch die Exposition signifikant erhöht sind, was einen erkrankungsfördernden Effekt von HF-EMF nahelegt.

Die mit 30 Mio. US-Dollar finanzierte NTP-Studie umfasst sowohl Mäuse als auch Ratten. Die Studie dauerte mehr als 10 Jahre und ist eine der bisher umfassendsten Bewertungen der gesundheitlichen Auswirkungen bei Tieren (Mäusen und Ratten) die HF-EMF ausgesetzt werden. Die US-amerikanische Arzneimittel- und Gesundheitsbehörde gab dieses Forschungsprojekt im Jahr 1999 in Auftrag.

In dieser Studie stellte das NTP bei den Mäusen, die Fernfeld-GSM-Technologie ausgesetzt waren, Hauttumoren und Lungentumoren bei den Männchen und bösartige Lymphome bei den Weibchen fest. Fernfeld-CDMA-exponierte Mäuse zeigten eine Zunahme von Hepatoblastomen bei Männchen und malignen Lymphomen bei Weibchen. Die Ergebnisse wurden als mehrdeutig eingestuft (eine geringfügige Zunahme von Gewebsneubildungen, die möglicherweise mit dem Agens zusammenhängt, auch wenn die erhöhte Inzidenz von Tumoren statistisch signifikant war).

Die Langzeitstudie an Ratten (NTP, 2018a) ergab, dass die Exposition gegenüber hohen HF-EMF-Werten, wie sie in 2G- und 3G-Mobiltelefonen verwendet werden, verbunden war mit:

- Eindeutige Evidenz für Tumoren in den Herzen männlicher Ratten (bösartige Schwannome).
- Gewisser Evidenz für Tumoren in den Gehirnen männlicher Ratten (bösartige Gliome).
- Gewisser Evidenz für Tumoren in den Nebennieren männlicher Ratten (Phäochromozytome).

Ein zum Peer-Review abgestelltes Expertengremium kam zu dem Schluss, dass die NTP-Studien ein gutes Design aufwiesen und dass die Ergebnisse zeigten, dass sowohl GSM- als auch CDMA-modulierte HFS karzinogen für das Herz (Schwannome) und das Gehirn (Gliome) von männlichen Ratten war (abschließende Bewertung: *Eindeutige Evidenz für Karzinogenität*) (NTP, 2018c).

Das RI in Italien führte eine die ganze Lebensdauer umspannende Karzinogenitätsstudie an Sprague-Dawley-Ratten durch, um die karzinogenen Auswirkungen von HF-EMF im Fernfeld zu bewerten, wobei die Umweltexposition gegenüber HF-EMF, die von 1,8-GHz-GSM-Antennen an Mobilfunkbasisstationen erzeugt werden, reproduziert wurde. Es handelt sich um die größte Langzeitstudie, die jemals an Ratten zu den gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF durchgeführt wurde; sie umfasste 2448 Tiere. Die Autoren berichteten über die endgültigen Ergebnisse in Bezug auf Hirn- und Herztumoren, die die gleiche Beobachtung wie die, die das NTP bei Ratten gemacht hat, bestätigen und bekräftigen: eine statistisch signifikante Zunahme von Schwannomen des Herzens bei Männchen und eine Zunahme von bösartigen Gliomen bei Weibchen.

Die jüngsten Studien zu HF-EMF des NTP und des RI zeigten ähnliche Ergebnisse bei Herzschnannomen und Hirngliomen, was die Ergebnisse gegenseitig bekräftigt. Sowohl die NTP- als auch die RI-Studien wurden gut durchgeführt, sodass keine Verzerrung die Ergebnisse beeinträchtigt. Die Verblindung wurde sowohl bei NTP- als auch bei RI-Versuchen gemäß den jeweiligen Standardarbeitsanweisungen (SOPs) oder Spezifikationen durchgeführt. Es ist nicht ungewöhnlich, dass Mäuse und Ratten hinsichtlich der Karzinogenese unterschiedlich reagieren, und geschlechtsspezifische Unterschiede bei der Reaktion auf Karzinogene sind sowohl bei Versuchstieren als auch beim Menschen üblich. Schwannome sind Tumoren, die von den Schwann-Zellen ausgehen. Bei letzteren handelt es sich um periphere Gliazellen, die die Oberfläche aller im Körper verteilten Nerven bedecken und schützen; Vestibularis- (Hörnerv-) und Herzschnannome



haben daher das gleiche Ursprungsgewebe. Bei Ratten ist eine Zunahme bösartiger Schwannome des Herzens, bösartiger Gliome des Gehirns und der Schwann-Zell-Hyperplasie (einer prämaligen Läsion) selten. Diese Läsionen wurden jedoch bei exponierten Tieren in zwei unabhängigen Laboratorien in einem breiten Spektrum von untersuchten HF-EMF-Expositionen beobachtet. Daher konnten die Ergebnisse der beiden Laboratorien nicht als „zufällig“ interpretiert werden. Die NTP- und die RI-Studien zeigen, dass die Hypothese, dass HF-Strahlung außer durch die Erwärmung von Gewebe keine schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit haben kann, wissenschaftlich nicht begründet ist.

Es ist hervorzuheben, dass sowohl das NTP als auch das RI in den letzten 40 Jahren mit ihren Ergebnissen wesentlich zur Risikobewertung verschiedener chemischer und physikalischer Stoffe Agenzien haben. Ihre Ergebnisse waren oft von prädiktivem Wert für die menschliche Gesundheit. Das NTP ist das größte Toxikologieprogramm der Welt; Hinsichtlich der Anzahl der untersuchten Agenzien wird das RI nur vom NTP übertroffen. Die zweijährigen Karzinogenitätsstudien des NTP und des RI und ihre Publikationen gelten aufgrund ihrer hohen Qualität, ihres Nutzens bei der Bewertung der Gefahren für die menschliche Gesundheit und der Strenge, Transparenz und Unabhängigkeit, die sie bei der Auswertung der Daten bieten, als „Goldstandard“ für Krebsstudien.

Somit lässt sich zusammenfassen, dass bei FR1-exponierten Versuchstieren positive Zusammenhänge mit *ausreichender* Evidenz zwischen HF-EMF-Exposition und Gliomen und Neuomen (synonym mit Schwannomen) beobachtet wurden.

## 5.2 Krebs und höhere Telekommunikationsfrequenzen (FR2: 24 bis 100 GHz)

### 5.2.1 HF-EMF (FR2: 24 bis 100 GHz) und Krebs beim Menschen

Es wurden nur wenige Studien zu Frequenzen zwischen 24 und 100 GHz (FR2) durchgeführt. Der größte Teil von ihnen betraf die Exposition am Arbeitsplatz von Arbeitern, die in der Radartelekkommunikation tätig sind. Die Exposition wurde von den Befragten selbst berichtet oder mit der Berufsbezeichnung in Verbindung gebracht und basierte auf der Entfernung zur Quelle der HF-Emissionen. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es zwar schwache Indikatoren auf ein möglicherweise erhöhtes Risiko für Hirntumoren, Lymphome und Leukämie-Erkrankungen bei beruflich exponierten Arbeitern gibt, aber die Interpretation der Ergebnisse durch eine falsche Einstufung der Exposition und eine unzureichende Berücksichtigung möglicher Störfaktoren eingeschränkt wird. In der IARC-Monographie 102 lautete die Schlussfolgerung:

*Tumoren des Gehirns: „... falsche Einstufung der Exposition und unzureichende Berücksichtigung möglicher Störfaktoren schränken die Interpretation der Ergebnisse ein. Es gibt daher keinen eindeutigen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen Exposition am Arbeitsplatz gegenüber HF-Strahlung und dem Risiko von Hirntumoren“. (IARC, 2013)*

*Leukämie/Lymphom: „Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es zwar schwache Indikatoren für ein mögliches erhöhtes Leukämie- oder Lymphomrisiko im Zusammenhang mit Exposition am Arbeitsplatz gegenüber HF-Strahlung gibt, diese Ergebnisse aber aufgrund der begrenzten Expositionsbewertung und möglicher Störfaktoren schwer zu interpretieren sind“ (IARC, 2013).*

Für andere Arten von Tumoren ergab sich ein potenzieller Zusammenhang mit der Exposition gegenüber hohen Frequenzen (Aderhautmelanom, Hoden-, Brust-, Lungen- und Hautkrebs), aber viele der Studien wiesen methodische Einschränkungen auf und die Ergebnisse waren uneinheitlich (IARC 2013).

Die vorliegende Überprüfung bestätigt die Anmerkungen des IARC, dass es für die höchste 5G-Frequenz (FR2) keine ausreichenden epidemiologischen Studien gibt, auf deren Grundlage die Auswirkungen auf die Gesundheit bewertet werden könnten.

### 5.2.2 HF-EMF (FR2: 24 bis 100 GHz) und Krebs bei Versuchstieren

76 Studien wurden im Hinblick auf Krebs bei Versuchstieren untersucht. Es wurde keine verfügbare Literatur über einen möglichen Zusammenhang zwischen experimenteller Karzinogenität und HF-Strahlung im Bereich von 24 bis 100 GHz (FR2) ermittelt.

## 5.3 Schädliche Wirkung auf Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung und niedrigere Telekommunikationsfrequenzen (FR1: 450 bis 6 000 MHz)

### 5.3.1 HF-EMF (450 bis 6 000 MHz) und schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen.

Etwa 2 800 Studien in dieser Überprüfung erfüllten die vorab festgelegten Einschlusskriterien. Zusätzliche Datensätze, die durch die geprüften Artikel ermittelt wurden, ergaben einige weitere infrage kommende Artikel. Es wurden jedoch nur insgesamt 40 Artikel für die Datenextraktion herangezogen, und 26 epidemiologische Studien wurden als methodisch ausreichend bewertet. Das Ergebnis der Überprüfung finden sich in Tabelle 18.

#### ➤ Männliche Fertilität

In den letzten Jahren haben wir beobachtet, dass der prozentuale Anteil von Fällen männlicher Infertilität im Allgemeinen steigt. Dies ist auf eine Reihe von Faktoren der Umwelt, Gesundheit und Lebensweise zurückzuführen.

Zahl, Beweglichkeit, DNA-Integrität, Lebensfähigkeit und Morphologie der Spermien waren die am stärksten beeinträchtigten Parameter, wenn Männer HF-EMF ausgesetzt waren.

FR1 (450 MHz bis 6 000 MHz): Es liegt ausreichende Evidenz für den Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und schädlichen Wirkungen auf die männliche Fertilität vor.

#### ➤ Exposition schwangerer Frauen

Fehlgeburten und Frühgeburten bei Frauen, die während der Schwangerschaft intensiv Mobiltelefone nutzten, wurde ein möglicher Zusammenhang mit der Exposition des Embryos/Fötus während der Schwangerschaft zugeschrieben; Die Anzahl der Studien ist zu gering und sie sind für eine Expositionsbeurteilung nicht ausreichend, um endgültige Schlussfolgerungen zu ziehen. Ein Zusammenhang kann weder ausgeschlossen noch bestätigt werden.

FR1 (450 MHz bis 6 000 MHz): Es liegt begrenzte Evidenz für den Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und schädlichen Wirkungen auf die weibliche Fertilität vor.

#### ➤ Auswirkungen auf die Entwicklung von Nachkommen

Im Hinblick auf die Nachkommen wurden Verhaltensauffälligkeiten und motorische/kognitive/sprachliche Verzögerungen in epidemiologischen Querschnitts- und Kohortenstudien untersucht; die Ergebnisse sind gemischt (widersprüchlich) und nicht schlüssig. Ein Zusammenhang kann weder ausgeschlossen noch bestätigt werden.

FR1 (450 MHz bis 6 000 MHz): Es liegt begrenzte Evidenz für den Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und schädlichen Wirkungen auf die Gesundheit von Nachkommen vor.



### 5.3.2 HF-EMF (450 bis 6000 MHz) und schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren.

Ein wichtiger Aspekt der Sicherheitsbeurteilung von chemischen und physikalischen Agenzien ist die Bestimmung ihrer potenziellen Reproduktions- und Entwicklungstoxizität. In einer Reihe von Richtlinien wurde eine Reihe separater Studien zur Reproduktions- und Entwicklungstoxizität von der Befruchtung bis zum Erwachsenenalter und in einigen Fällen bis zur zweiten Generation beschrieben.

Die OECD-Prüfrichtlinie 443 dient der Bewertung der Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit und Entwicklung, die infolge einer prä- und postnatalen Chemikalienexposition auftreten können, sowie der Bewertung der systemischen Toxizität bei trächtigen und laktierenden Weibchen sowie jungen und erwachsenen Nachkommen. Diese OECD-Prüfrichtlinie dient der Bewertung der Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit und Entwicklung, die infolge einer prä- und postnatalen Chemikalienexposition auftreten können, sowie der Bewertung der systemischen Toxizität bei trächtigen und laktierenden Weibchen sowie jungen und erwachsenen Nachkommen.

Die Extended One-Generation Reproductive Toxicity Study (EOGRTS) stellt die jüngste und umfassendste Richtlinie in dieser Reihe dar. Die EOGRTS bestimmt die Toxizität vor der Empfängnis, während der Entwicklung des Embryos/Fötus und des Neugeborenen, im Jugendlichen- und Erwachsenenalter, mit besonderem Schwerpunkt auf dem Nerven-, Immun- und Hormonsystem; ferner bewertet die EOGRTS die Toxizität beim Mutter- und beim Vatertier.

Ziel der Studie zur pränatalen Entwicklungstoxizität ist es, allgemeine Informationen über die Auswirkungen der pränatalen Exposition auf das trächtige Versuchstier und auf den sich entwickelnden Organismus bereitzustellen. Konkreter zielt die Studie zur Entwicklungstoxizität darauf ab, direkte und indirekte Wirkungen auf die embryonale und fötale Entwicklung infolge der Exposition gegenüber dem Agens zu ermitteln; jegliche maternale Toxizität festzustellen; die Dosis-Wirkungs-Beziehung bei Muttertier und Nachkommenschaft zu ermitteln; NOAELs zu ermitteln (keine beobachteten schädlichen Wirkungen hinsichtlich Toxizität beim Muttertier und Entwicklung der Jungtiere).

Wir haben Tierversuche ausgewählt und analysiert, die den genannten Richtlinien entsprachen, wobei unser Ansatz tendenziell umfassend war, wenn die Anzahl der Tiere, die Expositionsbewertung und das Verfahren als akzeptabel angesehen wurden.

Tabelle 27 bietet einen Überblick über die Ergebnisse. Unter den verschiedenen schädlichen Wirkungen von FR1 war die Beeinträchtigung der Spermienqualität die offensichtlichste.

Strukturelle und/oder physiologische Analysen der Hoden zeigten degenerative Veränderungen, einen verminderten Testosteronspiegel, eine höhere Anzahl apoptotischer Zellen und eine erhöhte Produktion von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS).

Die Ergebnisse für alle anderen Parameter waren begrenzt und lassen keine abschließende Bewertung zu.

### ➤ Männliche Fertilität

Was die HF-EMF-Exposition angeht, waren Zahl, Beweglichkeit, DNA-Integrität, Lebensfähigkeit und Morphologie der Spermien die am stärksten beeinträchtigten Parameter, wenn Versuchstiere HF-EMF ausgesetzt waren.

FR1 (450 MHz bis 6 000 MHz): Es liegt ausreichende Evidenz für den Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und schädlichen Wirkungen auf die Fertilität bei männlichen Versuchstieren vor.

### ➤ Weibliche Fertilität

Die Anzahl der Studien ist zu gering, um endgültige Schlussfolgerungen zu ziehen. Die beiden untersuchten ausreichenden Studien zeigen schädliche Wirkungen, aber ein Zusammenhang kann weder zurückgewiesen noch bestätigt werden.

FR1 (450 MHz bis 6 000 MHz): Es liegt begrenzte Evidenz für den Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und schädlichen Wirkungen auf die Fertilität bei weiblichen Versuchstieren vor.

### ➤ Auswirkungen auf die Entwicklung von Nachkommen

Bei den Nachkommen wurden die Dauer der Trächtigkeit, das Wachstum des Fötus, die Eigenschaften des Wurfes und die verhaltensneurologischen Auswirkungen durch experimentelle Bioassays an Nagetieren untersucht. Manche Studien waren positiv, aber die Ergebnisse verschiedener Studien sind oft widersprüchlich, und es wurden Einschränkungen bei der Expositionsbeurteilung festgestellt. Daher waren die Ergebnisse nicht schlüssig. Ein Zusammenhang kann weder zurückgewiesen noch bestätigt werden.

FR1 (450 MHz bis 6 000 MHz): Es liegt begrenzte Evidenz für den Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und schädlichen Wirkungen auf Entwicklungsparameter sowohl bei Muttertieren als auch bei Nachkommen vor.

## 5.4 Schädliche Wirkung auf Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung und höhere Telekommunikationsfrequenzen (FR2: 24 bis 100 GHz)

### 5.4.1 Schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen (FR2: 24 bis 100 GHz)

Die wenigen verfügbaren epidemiologischen Studien, die wir analysiert haben, wurden an Männern mit beruflicher Exposition durchgeführt (Tabelle 20). Es wurden schädliche Wirkungen auf die Fertilität der Spermien berichtet. Die beiden verfügbaren Querschnittsstudien sind jedoch mit der Einschränkung behaftet, dass die Exposition von den Befragten selbst angegeben oder anhand der Berufsbezeichnung bewertet wurde. Ein Zusammenhang kann weder zurückgewiesen noch bestätigt werden. Unsere Recherchen ergaben, dass die schädlichen Wirkungen auf die Entwicklung dieser höheren Frequenzen in der menschlichen Bevölkerung nicht ausreichend untersucht wurden.

FR2 (24 bis 100 GHz): Zu diesem höheren Frequenzband wurden keine ausreichenden Studien durchgeführt.

#### 5.4.2 Schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung in Studien an Versuchstieren (FR2: 24 bis 100 GHz)

In den wenigen Studien, die für die höheren Frequenzen entworfen wurden, wurden nur die thermischen Nebenwirkungen ausreichend untersucht.

FR2 (24 bis 100 GHz): Zu diesem höheren Frequenzband wurden keine ausreichenden Studien durchgeführt.

## 6. Schlussfolgerungen

### 6.1 Telekommunikationsfrequenzen FR1: 450 MHz–6 000 MHz

#### 6.1.1 Krebs beim Menschen

*Es liegt begrenzte Evidenz beim Menschen für die Karzinogenität von Hochfrequenzstrahlung vor.* Seit 2011 wurden erneut positive Assoziationen zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung von Funktelefonen und Gliomen und Akustikusneurinomen beobachtet, aber die Evidenz ist noch nicht beweiskräftig genug, um einen direkten Zusammenhang herzustellen.

#### 6.1.2 Krebs bei Versuchstieren

Es liegt ausreichende Evidenz für die Karzinogenität hochfrequenter Strahlung bei Versuchstieren vor.

#### 6.1.3 Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen

Es liegt ausreichende Evidenz für schädliche Wirkungen auf die Fertilität von Männern vor. Es liegt *begrenzte Evidenz* für schädliche Wirkungen auf die Fertilität von Frauen vor. Es liegt *begrenzte Evidenz* für die entwicklungsbezogenen Auswirkungen auf Nachkommen von Frauen vor, die während der Schwangerschaft intensiv Mobiltelefone genutzt haben.

#### 6.1.4 Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren

Es liegt ausreichende Evidenz für schädliche Wirkungen auf die Fertilität männlicher Ratten und Mäuse vor. Es liegt *begrenzte Evidenz* für schädliche Wirkungen auf die Fertilität weiblicher Mäuse vor. Es liegt *begrenzte Evidenz* für schädliche Wirkungen auf die Entwicklung der Nachkommen von Ratten und Mäusen vor, die während der Embryonalphase dieser Strahlung ausgesetzt waren.

### 6.2 Telekommunikationsfrequenzen FR2: 24 bis 100 GHz

#### 6.2.1 Krebs beim Menschen

Die wenigen verfügbaren, unzureichenden Daten lassen keine Bewertung zu.

#### 6.2.2 Krebs bei Versuchstieren

Keine verfügbaren Daten.

#### 6.2.3 Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen

Keine verfügbaren Daten.

#### 6.2.4 Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren

Keine verfügbaren Daten.

## 6.3 Gesamtbewertung

### 6.3.1 Krebs

FR1 (450 MHz bis 6 000 MHz): Als Zusammenfassung der Inhalte, die wir in der verfügbaren wissenschaftlichen Literatur, sowohl in Studien an Menschen als auch an Tieren, analysieren konnten, können wir schlussfolgern, dass die Exposition gegenüber HF-EMF bei FR1-Frequenzen wahrscheinlich Krebs und insbesondere Gliome und Akustikusneurinome beim Menschen verursacht.

FR2 (24 bis 100 GHz): Zu den nichtthermischen Effekten der höheren Frequenzen wurden keine ausreichenden Studien durchgeführt.

### 6.3.2 Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit und die Entwicklung

FR1 (450 bis 6 000 MHz): Diese Frequenzen haben *eindeutig* Auswirkungen auf die männliche Fertilität. Diese Frequenzen haben *möglicherweise* Auswirkungen auf die weibliche Fertilität. Sie haben *potenzielle* schädliche Wirkungen auf die Entwicklung von Embryos, Feten und Neugeborenen.

FR2 (24 bis 100 GHz): Zu den nichtthermischen Effekten der höheren Frequenzen wurden *keine ausreichenden* Studien durchgeführt.

## 7. Politische Optionen

Die politischen Optionen, die sich aus dem vorliegenden Bericht ergeben – für die 5G-Frequenzen (700 MHz, 3 600 MHz, 26 GHz) und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass man die 2G-, 3G- und 4G-Frequenzen noch viele Jahre lang nutzen wird – sind im Folgenden aufgeführt.

### 7.1 Entscheidung für neuartige Technologien für Mobiltelefone, die eine Verringerung der HF-Exposition ermöglichen

Die derzeit größte Bedrohung durch HF-Aussendungen scheint vom Mobiltelefon auszugehen. Zwar werden Sendeanlagen (Funkmasten) von manchen Menschen als das größte Risiko wahrgenommen, jedoch geht die größte Belastung für die Menschen im Allgemeinen von ihren eigenen Mobiltelefonen aus, und epidemiologische Studien haben eine statistisch signifikante Zunahme von Hirntumoren und Schwannomen der peripheren Nerven beobachtet, vor allem bei Menschen, die ihr Mobiltelefon intensiv nutzen.

Daher müssen wir dafür sorgen, dass immer sicherere Telefongeräte hergestellt werden, die wenig Energie abgeben und möglichst nur dann funktionieren, wenn sie sich in einem bestimmten Abstand zum Körper befinden. Der kabelgebundene Hörer löst einen Großteil des Problems, ist aber unbequem und schreckt daher die Nutzer ab; andererseits ist es nicht immer möglich, den Lautsprechermodus zu verwenden.

Die Option, die HF-EMF-Exposition durch Telefone so weit wie möglich zu verringern, gilt unabhängig von den Frequenzen, von 1G bis 5G. In Ländern wie den USA und Kanada, in denen strengere SAR-Grenzwerte für Mobiltelefone gelten als in Europa, war man dennoch in der Lage, eine effiziente 2G-, 3G- und 4G-Kommunikation aufzubauen (Madjar, 2016). Da 5G energieeffizienter als vorherige Technologien sein soll, wird die Einführung strengerer Grenzwerte für Mobiltelefone in der EU gleichzeitig ein nachhaltiger und zugleich vorsorglicher Ansatz sein.

### 7.2 Überarbeitung der Expositionsgrenzwerte für die Öffentlichkeit und die Umwelt, um die HF-Exposition durch Mobilfunkmasten zu verringern

In jüngster Zeit hat die europäische Politik (Europäische Kommission, 2019) die Nachhaltigkeit eines neuen wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungsmodells gefördert, das neue Technologien zur ständigen Überwachung des Zustands des Planeten einsetzt, einschließlich Klimawandel, Energiewende, Agrarökologie und Erhaltung der biologischen Vielfalt. Die Nutzung der niedrigsten 5G-Frequenzen und die Einführung von vorsichtigen Expositionsgrenzwerten, wie sie unter anderem in Italien, der Schweiz, China und Russland verwendet werden und die deutlich unter den von der ICNIRP empfohlenen Werten liegen, könnten dazu beitragen, diese europäischen Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.

Was epidemiologische Studien bereits 2011 gezeigt haben (IARC, 2013), wurde durch Studien an Laborversuchstieren bestätigt, insbesondere hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und der krebserregenden Wirkung auf das Nervensystem. Das derzeit in Europa zulässige Sicherheitsniveau liegt bei 61 V/m (ICNIRP, 2020a). Die niedrigste Dosis, bei der diese Wirkungen bei Fernfeldexposition in Versuchen beobachtet wurden, beträgt 50 V/m. In derselben experimentellen Studie (Falcioni et al., 2018) wurde bei 5 V/m keine krebserregende Wirkung festgestellt.

In Anbetracht dieses Ergebnisses könnte eine politische Option sein, die Höchstwerte für die Exposition in Wohngebieten und in der Öffentlichkeit in ganz Europa zu überprüfen. Die Werte könnten um mindestens das 10-Fache reduziert werden, d. h. auf etwa 6 V/m, eine Expositionshöhe, bei der keine krebserregenden Wirkungen bei Versuchstieren beobachtet wurden. 6 V/m scheint außerdem der Sicherheits-Grenzwert zu sein, bei dem keine schädlichen Wirkungen auf die Fertilität zu befürchten sind. Dies unpraktisch niedrig erscheinen, wenn wir die Telekommunikation um 5G erweitern wollen, aber dem ist nicht so.

So liegt in Italien der gesetzlich festgelegte Höchstwert bei 20 V/m, doch überall dort, wo Menschen ständig mehr als vier Stunden lang exponiert sind (Wohnungen, Arbeitsplätze, Schulen, Versammlungsstätten usw.), liegt der kritische Wert bei 6 V/m. Dieser Grenzwert liegt sehr nahe an dem Wert von 5 V/m, den wir zuvor als sicher für Versuchstiere bezeichnet haben. NOAEL-Werte („Dosis ohne beobachtbare schädliche Wirkung“) werden in experimentellen Studien häufig zur Risikobewertung und Recherche verwendet (Gaylor, 1999).

In vielen italienischen Städten, darunter Bologna, wird 5G bereits mit einer Frequenz von 3 600 MHz betrieben. Die Überwachungsdaten zeigen, dass die durchschnittliche Exposition in der Gemeinde Bologna im Jahr 2019 bei 1,97 V/m lag (mit einem Höchstwert von 4,62 V/m in einem bestimmten Fall). Die Statistiken für das Jahr 2020 werden noch verarbeitet, aber in keinem Fall wurden die vom italienischen Gesetz vorgeschriebenen Werte überschritten. Im Moment scheint es daher möglich zu sein, neue Installationen zu entwickeln und dabei die gesetzlichen Grenzwerte einzuhalten.

Ein weiteres Beispiel ist Paris. Die Stadt hat mit den vier großen französischen Mobilfunknetzbetreibern eine Vereinbarung getroffen, die auf die Einführung strengerer Strahlungsnormen für das Mobilfunknetz abzielt. Der Grenzwert für die HF-EMF-Exposition in Innenbereichen wurde von zuvor 7 V/m auf 5 V/m gesenkt, was einer 30-prozentigen Reduktion bei der Referenzfrequenz 900 MHz entspricht und einen niedrigeren Grenzwert als in Brüssel (6 V/m) oder Rom (6 V/m) darstellt. Die Vereinbarung, die 2017 vom Stadtbezirk Paris genehmigt wurde, umfasst auch Pläne für einen neuen Überwachungsdienst zur Messung der EMF-Werte in Gebäuden. Brüssel ist ein drittes Beispiel für die Einführung einer Untergrenze von 6 V/m.

### 7.3 Einführung von Maßnahmen, mit denen Anreize für die Reduzierung der HF-EMF-Exposition geschaffen werden

Die beachtliche Leistung der neuen drahtlosen 5G-Technologie kann auch durch Verwendung von Glasfaserkabeln und Einführung von technischen Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition durch 2G- bis 4G-Systeme erreicht werden (Keiser, 2003; CommTech Talks, 2015; Zlatanov, 2017). Dies würde dort, wo ortsfeste Verbindungen erforderlich sind, die Exposition reduzieren. Zum Beispiel könnten wir Glasfaserkabel für die Verbindung von Schulen, Bibliotheken, Arbeitsplätzen, Wohnhäusern, öffentlichen Gebäuden, allen neuen Gebäuden usw. verwenden. Öffentliche Versammlungsorte könnten zu HF-EMF-freien Zonen erklärt werden (ähnlich wie Nichtraucherzonen), um die passive Exposition von Personen zu vermeiden, die keine Mobiltelefone oder Fernübertragungstechniken verwenden, und so viele gefährdete ältere oder immungeschwächte Menschen, Kinder und elektrosensible Menschen zu schützen.

### 7.4 Förderung multidisziplinärer wissenschaftlicher Forschung, um die langfristigen gesundheitlichen Auswirkungen von 5G



## zu bewerten und eine geeignete Methode zur Überwachung der 5G-Exposition zu ermitteln

In der Literatur finden sich keine ausreichenden Studien, mit denen sich das Risiko ausschließen lässt, dass bei einer Exposition gegenüber 5G-MMW Tumoren und schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit und Entwicklung auftreten können, oder die die Möglichkeit von synergistischen Wechselwirkungen zwischen 5G und anderen bereits verwendeten Frequenzen ausschließen. Daher ist die Einführung von 5G mit Unsicherheiten behaftet, sowohl in Bezug auf Gesundheitsfragen als auch auf die Vorhersage/Überwachung der tatsächlichen Exposition der Bevölkerung: Diese Wissenslücken werden angeführt, um die Forderung nach einem Moratorium für 5G-MMW zu rechtfertigen, bis hinreichende Forschungsarbeiten abgeschlossen sind.

Angesichts dieser Unsicherheiten besteht eine politische Option darin, die multidisziplinäre Teamforschung zu verschiedenen Faktoren der Expositionsbewertung und auch zu den biologischen Auswirkungen von 5G-MMW bei Frequenzen zwischen 6 und 300 GHz zu fördern, und zwar sowohl auf den Menschen als auch auf die Flora und Fauna der Umwelt, nichtmenschliche Wirbeltiere, Pflanzen, Pilze und Wirbellose. Die Ergebnisse dieser Studien könnten die Grundlage für die Entwicklung einer evidenzbasierten Politik bezüglich der HF-EMF-Exposition menschlicher und nichtmenschlicher Organismen durch 5G-MMW-Frequenzen bilden. Es sind weitere Studien erforderlich, um die gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF im Allgemeinen und von MMW im Speziellen besser und unabhängig zu untersuchen.

Ziel von REACH ist es, den Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt durch eine bessere und frühere Identifizierung der inhärenten Eigenschaften von chemischen Stoffen zu verbessern. EU-REACH regelt die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe. Mit der Verordnung sollen außerdem Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit der Chemikalienindustrie der EU gestärkt werden. EU-REACH beruht auf dem Grundsatz „keine Daten, kein Markt“ und überträgt der Industrie die Verantwortung für die Bereitstellung von Sicherheitsinformationen über Stoffe. Hersteller und Importeure müssen Informationen über die Eigenschaften ihrer chemischen Stoffe sammeln, die einen sicheren Umgang mit ihnen ermöglichen, und diese Informationen in einer zentralen Datenbank bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) in Helsinki registrieren. Eine politische Option könnte sein, den gleichen Ansatz, der auch für chemische Stoffe angewendet wird, auf alle Arten von technologischen Innovationen anzuwenden.

### 7.5 Förderung von Informationskampagnen zu 5G

Leider besteht ein Mangel an Informationen zu den potenziellen Gefahren von HF-EMF. Die Informationslücke schafft Raum für Leugner und Panikmacher und führt in zahlreichen EU-Ländern zu sozialen und politischen Spannungen (OECD, 2017). Kampagnen zur Information der Bürger sollten daher eine Priorität darstellen.

Informationskampagnen sollten auf allen Ebenen durchgeführt werden, angefangen bei den Schulen. Sie sollten die potenziellen gesundheitlichen Risiken, aber auch die Möglichkeiten der digitalen Entwicklung, die infrastrukturellen Alternativen für die 5G-Übertragung, die von der EU und den Mitgliedstaaten ergriffenen Sicherheitsmaßnahmen (Expositionsgrenzwerte) und die richtige Verwendung von Mobiltelefonen aufzeigen. Nur mit belastbaren und akkuraten Informationen können wir das Vertrauen der Bürger zurückgewinnen und eine gemeinsame Einigung über eine technologische Entscheidung erzielen, die bei richtiger Handhabung große soziale und wirtschaftliche Vorteile bringen kann.

## 8. Literaturverzeichnis

### 8.1 Allgemeines Literaturverzeichnis

- Adams JA, Galloway TS, Mondal D, et al. Effect of mobile telephones on sperm quality: a systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 2014; 70: 106–12.
- Adebayo EA, Adeeyo AO, Ayandele AA, Omomowo IO. Effect of RFy radiation from telecommunication base stations on microbial diversity and antibiotic resistance. *J Appl Sci Environ Manag.* 2014; 18: 669–674.
- Agiwal M, Roy A, Saxena N. Next generation 5G wireless networks: a comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials.* 2016; 8:1617–1655.
- Akdeniz M, Liu Y, Samimi M, et al. Millimeter wave channel modeling and cellular capacity evaluation. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2014; 32:1–18.
- Alekseev S, Ziskin M. Millimeter wave power density in aqueous biological samples. *Bioelectromagnetics.* 2001;22: 288–291.
- Alphandéry E. glioblastoma treatments: an account of recent industrial developments. *Frontiers in Pharmacology.* 2018; 9: 879. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fphar.2018.00879>  
[DOI=10.3389/fphar.2018.00879](https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00879)
- Al-Saadeh O, Sung KA. Performance comparison of in-band full duplex and dynamic TDD for 5G indoor wireless networks. *EURASIP, Journal on Wireless Communications and Networking.* 2018.
- ANSES, French Agency For Food, Environmental And Occupational Health and Safety. 2013; [https://www.anses.fr/en/content/anses-issues-recommendations-limiting-exposure-radiofrequencies?utm\\_campaign=Issue%20506\\_13\\_Oct\\_16\\_.htm&utm\\_medium=email&utm\\_source=Eloqua&elq=cb3f837aad7a401d8ff78f74b52ac467&elqCampaignId=712](https://www.anses.fr/en/content/anses-issues-recommendations-limiting-exposure-radiofrequencies?utm_campaign=Issue%20506_13_Oct_16_.htm&utm_medium=email&utm_source=Eloqua&elq=cb3f837aad7a401d8ff78f74b52ac467&elqCampaignId=712)
- ANSES, French Agency For Food, Environmental And Occupational Health and Safety. Estimations nationales de l'incidence et de la mortalité par cancer en France métropolitaine entre 1990 et 2018. 2019. <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/cancers/cancer-du-sein/documents/rapport-synthese/estimations-nationales-de-l-incidence-et-de-la-mortalite-par-cancer-en-france-metropolitaine-entre-1990-et-2018-volume-1-tumeurs-solides-etud>
- Armstrong R, Hall BJ, Doyle J, Waters E. Cochrane Review of the Health Effects of Radiofrequency Electromagnetic Fields. *Journal Public Health.* 2011; 33: 147–50.
- Austrian Institute of Technology. 5G Österreichischen Parlaments. 2020. [https://www.parlament.gv.at/ZUSD/FTA/5G-Gesundheit\\_Endbericht\\_final.pdf](https://www.parlament.gv.at/ZUSD/FTA/5G-Gesundheit_Endbericht_final.pdf)
- Baan R, Grosse A, Lauby-Secretan B, et al., on behalf of the WHO International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. 2011. Published Online, [www.thelancet.com/oncology](http://www.thelancet.com/oncology)
- Baracca P, Weber A, Wild T, Grangeat C. A statistical approach for rf exposure compliance boundary assessment in Massive MIMO systems. 2018 :ArXiv abs/1801.08351.
- Balazs-Bertenyi B. 5G NR Standards in 3GPP. 2017. [https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/global/business/networks/insights/event/the-silicon-valley-5g-summit-2017/Session-1\\_3GPP\\_Balazs-Bertenyi.pdf](https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/global/business/networks/insights/event/the-silicon-valley-5g-summit-2017/Session-1_3GPP_Balazs-Bertenyi.pdf).
- BC Center for Diseases control. Radiofrequency Toolkit for Environmental Health Practitioners. Canada, 2013. [http://www.bccdc.ca/resource-gallery/Documents/Guidelines%20and%20Forms/Guidelines%20and%20Manuals/EH/EH/RadiofrequencyToolkit\\_v5\\_26032014.pdf](http://www.bccdc.ca/resource-gallery/Documents/Guidelines%20and%20Forms/Guidelines%20and%20Manuals/EH/EH/RadiofrequencyToolkit_v5_26032014.pdf)

- Bhartiya P, et al. Pulsed 3.5 GHz high power microwaves irradiation on physiological solution and their biological evaluation on human cell lines. *Sci Rep.* 2021; 11:8475.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-88078-x>
- BERENIS Newsletter. Special Issue. The Swiss expert group on electromagnetic fields and non-ionising radiation. 2021. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/electrosmog/newsletter-of-the-swiss-expert-group-on-electromagnetic-fields-a.html>
- Blackman C, Forge S. 5G Deployment: State of play in Europe, USA and Asia. In depth analysis requested by the ITRE committee. Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, Directorate General for Internal Policies. 2019; PE 631.060.
- Bosco L, Notari T, Ruvolo G, et al. Sperm DNA fragmentation: An early and reliable marker of air pollution. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2018; 58: 243–249.
- Chahat N, Zhadobov M, Le Coq L, et al. Characterization of the interactions between a 60-GHz antenna and the human body in an off-body scenario. *IEEE Trans. Antennas Prop.* 2021; 60: 5958–5965.
- CommTech Talks. Fiber optics for sensing, Politecnico di Milano. 2015.  
<http://commtech.dei.polimi.it/it/eventi/commtech-talks>
- David T, Viswanath P. *Fundamentals of Wireless Communication.* Cambridge University Press. 2005; Cambridge, UK.
- De Vocht F. The case of acoustic neuroma: Comment on: Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers. *International Journal of Epidemiology.* 2014; 43: 273–274
- EPRS, European Parliamentary Research Service. (2017). New radio frequencies for mobile internet services.  
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/607293/EPRS\\_BRI%282017%29607293EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/607293/EPRS_BRI%282017%29607293EN.pdf)
- EPRS, European Parliamentary Research Service. (2020). Effects of 5G wireless communication on human health.  
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/646172/EPRS\\_BRI\(2020\)646172\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/646172/EPRS_BRI(2020)646172_EN.pdf)
- European Commission (2019). A European Green Deal: Striving to be the first climate-neutral continent.  
[https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
- European Environmental Agency. Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation. EEA Report No 1. 2013. ISSN 1725-9177.
- European Parliament Assembly The potential dangers of electromagnetic fields and their effect on the environment. Council of Europe Resolution 1815. 2011a. <https://pace.coe.int/en/files/17994>
- European Parliament Assembly. Text adopted by the Standing Committee, acting on behalf of the Assembly, 27 May 2011. 2011b. <https://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/Xref-XML2HTML-en.asp?fileid=17994>
- European Parliament resolution on the Commission communication on the precautionary principle. COM 2000. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8deb58fd-ff20-4562-998c-293eee6724ac/language-en/format-PDF/source-search>
- European 5G observatory. Harmonization on 3.4-3.8 GHz radio spectrum kicks off in Europe. 2020.  
<https://5gobservatory.eu/harmonisation-on-3-4-3-8-ghz-radio-spectrum-kicks-off-in-europe/>
- FCC, Federal Communications Commission, Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to RF Electromagnetic Fields. Tech. Rep. Suppl. C to OET Bulletin 652001.
- FORPG, Federal Office for Radiation Protection of Germany, 2019.  
<https://www.bfs.de/SharedDocs/Stellungnahmen/BfS/EN/2019/0320-5G.html>
- Foster KR. Comments on Neufeld and Kuster: Systematic derivation of safety limits for time-varying 5G rfy exposure based on analytical models and thermal dose. *Health Physics.* 2019; 117: 67–69.

- Foster KR, Lozano-Nieto A, Riu PJ, Ely TS. Heating of tissues by microwaves: a model analysis. *Bioelectromagnetics*. 1998;19:420–8.
- Foster PMD. Regulatory Forum Opinion Piece: New testing paradigms for reproductive and developmental toxicity. The NTP Modified One Generation Study and OECD 443. *Toxicologic Pathology*. 2014;42:1165–1167.
- Gaylor DW, Kodell RL, Chen JJ, Krewski D. Unified approach to risk assessment for cancer and noncancer endpoints based on benchmark doses and uncertainty/safety factors. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 1999;29:151–157.
- GBD, Global Burden of Disease 2016. Brain and other CNS cancer collaborators. Global, regional, and national burden of brain and other CNS cancer, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Neurol* 2019; 18: 376–93.
- Golovacheva TV. EHF therapy in complex treatment of cardio-vascular diseases. 10th Russian Symposium. *Millimeter Waves in Medicine and Biology*. 1995;29–31. Moscow: IRE RAN. (in Russian).
- Grandjean P. Science for precautionary decision-making. In: *Late Lessons from Early Warnings: Science, Precaution, Innovation*. EEA. 2013;635–638.
- Guo L, Kubat NJ, Isenberg RA. Pulsed radio frequency energy (PRFE) use in human medical applications. *Electromagn Biol Med*. 2011;30:21–45.
- Hardell L, Carlberg M. Mobile phones, cordless phones and rates of brain tumours in different age groups in the Swedish National Inpatient Register and the Swedish Cancer Register during 1998–2015. *PLoS ONE*. 2017; 12: e0185461.
- Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Mild KH. Pooled analysis of case-control studies on acoustic neuroma diagnosed 1997–2003 and 2007–2009 and use of mobile and cordless phones. *International Journal of Oncology*. 2013;43:1036–1044.
- Hardell L, Mild HK, Sandström M, et al. Vestibular schwannoma, tinnitus and cellular telephones. *Neuroepidemiology*. 2003;22:124–9.
- Hasegawa T, Kida Y, Kato T, Iizuka H, et al. Long-term safety and efficacy of stereotactic radiosurgery for vestibular schwannomas: evaluation of 440 patients more than 10 years after treatment with Gamma Knife surgery. *J Neurosurg*. 2013; 118:557–65.
- Health Council of the Netherlands. 5G and health. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2020; publication no. 2020/16. [www.healthcouncil.nl](http://www.healthcouncil.nl).
- Huff J. Long-term chemical carcinogenesis bioassays predict human cancer hazards: issues, controversies, and uncertainties. *Annals New York Academy of Sciences*. 1999;895:56–79.
- Huff J. Value of animal testing for identifying carcinogens. In: *Late Lessons from Early Warnings: Science, Precaution, Innovation*. EEA, 2013;194–196.
- Kastenhofer K, Mesbahi Z, Schaber F, Nentwich M. 5G. Mobilfunk und Gesundheit. Bericht im Auftrag des Österreichischen Parlaments, Nr. ITA Abschätzung (ITA) und AIT Austrian Institute of Technology. 2020. English summary. [epub.oew.ac.at/ita/ita-projektberichte/ITA-AIT-11.pdf](http://epub.oew.ac.at/ita/ita-projektberichte/ITA-AIT-11.pdf)
- Keiser G. Optical fiber communications. *Wiley Encyclopedia of Telecommunication*. 2003. <https://doi.org/10.1002/0471219282.eot158>
- Jalilian H, Eeftens M, Ziaei M, Röösli M. Public exposure to radiofrequency electromagnetic fields in everyday microenvironments: An updated systematic review for Europe. *Environ Res*. 2019; 176:108517.
- IARC, International Agency for Research on Cancer. Non-ionizing radiation, part II: radiofrequency electromagnetic fields. *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol 102*. 2013; International Agency for Research on Cancer, Lyon.
- IARC, International Agency for Research on Cancer Preamble updated 2019. IARC. 2019; <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2019/07/Preamble-2019.pdf>

- IARC, International Agency for Research on Cancer. Report of the Advisory Group to Recommend Priorities for the IARC Monographs during 2020–2024. IARC. 2019. [https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2019/10/IARCMonographs-AGReport-Priorities\\_2020-2024.pdf](https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2019/10/IARCMonographs-AGReport-Priorities_2020-2024.pdf).
- ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 KHZ TO 300 GHz). Health Phys. 2020a; 118: 483–524. <https://www.icnirp.org/en/activities/news/news-article/rf-guidelines-2020-published.html>
- ICNIRP. Differences between the ICNIRP (2020) and previous guidelines. 2020b. <https://www.icnirp.org/en/differences.html>
- ICNIRP. Public consultation. 2020c. <https://www.icnirp.org/en/activities/public-consultation/index.html>
- IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to the radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz, IEEE Standard C95.1. 1992.
- IEEE Standard Letter Designations for Radar-Frequency Bands, In: IEEE Std 521-2002 (Revision of IEEE Std 521-1984). 2003;1–10.
- IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to the radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz, IEEE Standard C95.1. 2005.
- ISTISAN, Istituto Superiore di Sanità, report 19/11. Lagorio S, Anglesio L, d'Amore G, Marino C, Scarfi MR. RFy radiation and cancer: summary of the scientific evidence. 2019; ii, 111 (in Italian).
- Lebedeva NN Sensor and subsensor reactions of a healthy man to peripheral effects of low-intensity millimeter waves. Mil-limetrovie Volni v Biologii i Medicine. 1993; 2: 5–23 (Russisch).
- Lebedeva NN. Neurophysiological mechanisms of biological effects of peripheral action of low-intensity nonionizing electro-magnetic fields in humans. 10th Russian symposium Millimeter Waves in Medicine and Biology. 1995; 138–140. (Digest of papers). Moscow: IRE RAN. (in Russian).
- Le Drean Y, Mahamoud YS, Le Page Y, et al. State of knowledge on biological effects at 40–60 GHz. Comptes Rendus Physique. 2013; 14:402–411.
- Leszczynski D. 2020. <https://betweenrockandhardplace.wordpress.com/2020/03/31/fact-check-there-are-no-30-000-studies-on-health-effects-of-emf-used-in-wireless-communication/>
- Madjar HM. Human radio frequency exposure limits: An update of reference levels in Europe, USA, Canada, China, Japan and Korea. 2016 International Symposium on Electromagnetic Compatibility-EMC EUROPE. IEEE, 2016.
- Mandrioli D, Schlünssen V, Ádám B, et al. WHO/ILO work-related burden of disease and injury: Protocol for systematic reviews of occupational exposure to dusts and/or fibres and of the effect of occupational exposure to dusts and/or fibres on pneumoconiosis. Environment International. 2018; 119:174–185.
- Maronpot RR, Flake G, Huff J. Relevance of animal carcinogenesis findings to human cancer predictions and prevention. Toxicologic Pathology. 2004; 32; 40–48.
- Melnick R. Regarding ICNIRP'S Evaluation of the National Toxicology Program's Carcinogenicity Studie on Radiofrequency Electromagnetic Fields. Health Physics. 2020; 118: 6.
- Microwave News (2020). 5G Waveforms in Dispute. Ken Foster and Niels Kuster Disagree on Averaging Times. <https://www.microwavenews.com/short-takes-archive/5g-waveforms-dispute>
- Mitschke F. Fiber-Optic Sensors. In: Fiber Optics. Springer, Berlin, Heidelberg.2009. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-03703-0\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03703-0_12).
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, for the PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. BMJ. 2009;339:b2535.
- Montano L, Bergamo P, Andreassi MG, Lorenzetti S. The Role of Human Semen as an Early and Reliable Tool of Environmental Impact Assessment on Human Health. Eco Food Fertility group. 2018. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73231>



- Morgan R L, Whaley P, Thayer K A, Schünemann HJ. Identifying the PECO: A framework for formulating good questions to explore the association of environmental and other exposures with health outcomes. *Environmental International*, 2018. <https://www.researchgate.net/publication/327267890>
- Moskowitz, Joel M. Effects of exposure to electromagnetic fields. *Electromagnetic Radiation Safety*, 2018 (updated 2020). 2020. <https://publichealth.berkeley.edu/news-media/video-room/joel-moskowitz-radio-frequency-radiation-health-risks-implications-for-5g/>
- Nasim I, Kim S. Human Exposure to RF Fields in 5G Downlink. 2017. arXiv:1711.03683v1 [eess.SP].
- Neufeld E and Kuster N. Response to Professor Foster's Comments. *Health Physics*. 2019; 117,1: 70–71 [https://journals.lww.com/health-physics/Citation/2019/07000/Response\\_to\\_Professor\\_Foster\\_s\\_Comments.10.aspx](https://journals.lww.com/health-physics/Citation/2019/07000/Response_to_Professor_Foster_s_Comments.10.aspx)
- NTP, National Toxicology Program. Peer review of the draft NTP technical reports on cell phone radiofrequency radiation. 2018. [https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/about\\_ntp/trpanel/2018/march/peerreview20180328\\_508.pdf](https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/about_ntp/trpanel/2018/march/peerreview20180328_508.pdf)
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. Test No. 421: Reproduction/Developmental Toxicity Screening Test. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. 2018; OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264264380-en>.
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. Trust and Public Policy: How Better Governance Can Help Rebuild Public Trust. OECD Public Governance Reviews. 2017; OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264268920-en>.
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. Test No. 443: Extended One-Generation Reproductive Toxicity Study. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. 2018a; OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264185371-en>.
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development Test No. 451: Carcinogenicity Studies. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. 2018b; OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264071186-en>.
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. Extended One-Generation Reproductive Toxicity Study (EOGRTS) (OECD TG 443). Revised Guidance Document 150 on Standardised Test Guidelines for Evaluating Chemicals for Endocrine Disruption. 2018c. OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264304741-34-en>.
- Pakhomov AG, Akyel Y, Pakhomova ON, et al. Current state and implications of research on biological effects of millimeter waves: a review of the literature. *Bioelectromagnetics*. 1998; 19:393–413.
- Peterson J, Pearce PF MPH, Ferguson LA, Langford CA . Understanding scoping reviews: Definition, purpose, and process. 2016. <https://doi.org/10.1002/2327-6924.12380>
- Philips A, Henshaw DL, Lamburn G, O'Carroll MJ. Brain tumours: rise in glioblastoma multiforme incidence in England 1995-2015 suggests an adverse environmental or lifestyle factor. *J Environ Public Health*. 2018; Article ID 7910754, 10 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/7910754> Qualcomm.com. Global update on spectrum for 4G and 5G. 2020. <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/spectrum-for-4g-and-5g.pdf>
- Ramundo-Orlando A. Effects of millimeter waves radiation on cell membrane - A brief review. *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*. 2010; 31:1400–1411.
- Rappaport T, Sun S, Mayzus S, et al. Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: it will work! *IEEE Access*. 2013; 1: 335–349.
- Romanenko S, Harvey AR, Hool L, et al. Millimeter wave radiation activates leech nociceptors via TRPV1-Like receptor sensitization. *Biophys J*. 2019; 116:2331–2345.
- Rösli M, Lagorio S, Schoemaker MJ, et al. Brain and salivary gland tumours and mobile phone use: evaluating the evidence from various epidemiological study designs. *Annu Rev Public Health*. 2019; 40: 221–38.

- Saghir M and Dorato A. Reproductive and developmental toxicity testing: Examination of the extended one-generation reproductive toxicity study guideline. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 2016; 79: 110–11.
- Sambo N, Castoldi P, D'Errico A et al. Next Generation Sliceable Bandwidth Variable Transponders. *IEEE Communications Magazine*. 2015; 53:163–171.
- SCHEER, Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks. Statement on emerging health and environmental issues. 2018 .  
[https://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/experts/declarations/scheer\\_en](https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/experts/declarations/scheer_en)
- SCENIHR, Scientific Committee on Emerging Newly Identified Health Risks. Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 2015; 36: 480–4.
- Scruggs S. NIEHS Office of Communications and Public Liaison. January 2020.  
<https://factor.niehs.nih.gov/2020/1/community-impact/5g-technology/index.htm>
- Seferis, C, et al. Malignant transformation in vestibular schwannoma: report of a single case, literature search, and debate. *J Neurosurg*. 2014; 121 (Suppl): 160–6.
- Sgargi D, Adam B, Budnik L, et al. Protocol for a systematic review and meta-analysis of human exposure to pesticide residues in honey and other bees' products. *Environmental Research*. 2020; 186:109470.
- Shakib S, Park H, Dunworth J, et al. A highly efficient and linear power amplifier for 28-GHz 5G phased array radios in 28-nm CMOS. *IEEE J. Solid-State Circuits*. 2016; 51, 12.
- Simkó M, Mattsson MO. 5G wireless communication and health effects-A pragmatic review based on available studies regarding 6 to 100 GHz. *Int J Environ Res Public Health*. 2019; 16(18). pii: E3406.
- Singh R, Nath R, Mahapatra AK, Sharma RS. Effect of RFy radiation on reproductive health. *Indian J Med Res*. 2018; 148: 99.
- Smith W, Wooten MD, et al. Evaluation of the genotoxicity of cell phone radiofrequency radiation in male and female rats and mice following subchronic exposure. *Environ Molec. Mutagenesis*. 2020; 61: 276–290.
- Soghomonyan D, Trchounian K, Trchounian A. Millimeter waves or extremely high frequency electromagnetic fields in the environment: what are their effects on bacteria? *Appl Microbiol Biotechnol*. 2016; 100:4761–71.
- SSM, Swedish Radiation Safety Authority's Scientific Council on electromagnetic Fields. Recent Research on EMF and Health Risk. Fourteenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. 2020.  
<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/en/publications/reports/radiation-protection/2020/202004/>
- 3GPP specification 38 series, The Mobile Broadband Standard <https://www.3gpp.org/DynaReport/38-series.htm>
- United States Government Accountability Office. Telecommunications: exposure and testing requirements for mobile phones should be reassessed. *GAO*. 2012; 12:771.
- Vornoli A, Falcioni L, Mandrioli D, et al. The Contribution of In Vivo Mammalian Studies to the Knowledge of Adverse Effects of Radiofrequency Radiation on Human Health. *Int J Environ Res Public Health*. 2019; 16:3379.
- Warren C, James LA, Ramsden RT, et al. Identification of recurrent regions of chromosome loss and gain in vestibular schwannomas using comparative genomic hybridisation. *J Med Genet*. 2003; 40: 802–6.
- WHO, World Health Organisation. (1993). Electromagnetic fields. *Environmental Health Criteria*. 1993; 137.
- WHO, World Health Organisation. Radio Frequency fields. An Environmental Health Criteria Monograph. Relaunch Call for Expressions of Interest for systematic reviews. 2020.  
[https://www.who.int/peh-emf/research/rf\\_ehc\\_page/en/](https://www.who.int/peh-emf/research/rf_ehc_page/en/).



- Wyde M, Cesta M, Blystone C, et al. Report of Partial findings from the National Toxicology Program Carcinogenesis Studies of Cell Phone Radiofrequency Radiation in Hsd: Sprague Dawley®rats . (Whole Body Exposures). 2016. <https://doi.org/10.1101/055699>
- Woodruff TJ and Sutton P. The Navigation Guide systematic review methodology: a rigorous and transparent method for translating environmental health science into better health outcomes. *Environ Health Perspect.* 2014; 122: 1007–14.
- Wu T, Rappaport T, and Collins C. Safe for generations to come: Considerations of safety for millimeter waves in wireless communications. *IEEE Microwave.* 2015; 16: 65–84.
- Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, et al. Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. *Electromagn Biol Med.* 2016; 35: 186–202.
- Zada G, Bond AE, Wang YP, et al. Incidence trends in the anatomic location of primary malignant brain tumours in the United States: 1992–2006. *World Neurosurg.* 2012; 77: 518–24.
- Zalyubovskaya N P. Biological effects of millimetre radiowaves. *Vracheboyne Delo.* 1977; 3: 116–119. (Russisch).
- Zhang J, Ge X, Li Q, Guizani M, Zhang Y. 5G millimeter-wave antenna array: design and challenges. *IEEE Wireless Communications.* 2017.
- Zimmerman JW, Jimenez H, Pennison MJ, et al. Targeted treatment of cancer with radiofrequency electromagnetic fields amplitude-modulated at tumour-specific frequencies. *Chin J Cancer.* 2013; 32: 573–581.
- Zlatanov N. Introduction to Fiber Optics Theory. 2017. DOI – 10.13140/RG.2.2.29183.20641.

## 8.2 Literaturverzeichnis für die Überprüfung zum Thema Krebs beim Menschen

- Ahlbom A, Feychting M, Green A et al. ICNIRP (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection). Standing Committee on Epidemiology. Epidemiologic evidence on mobile phones and tumour risk: a review. *Epidemiology.* 2009; 20: 639–652.
- Al-Qahtani K. Mobile Phone Use and the Risk of Parotid Gland Tumors: A Retrospective Case-Control Study. *Gulf J Oncolog.* 2016; 1: 71–8.
- Armstrong B, Mriault G, Guenel P et al. Association between exposure to pulsed electromagnetic fields and cancer in electric utility workers in Quebec, Canada, and France. *Am J Epidemiol.* 1994; 140: 805–820.
- Atzmon I, Linn S, Richter E, Portnov BA. Cancer risks in the Druze Isifya Village: Reasons and RF/MW antennas. *Pathophysiology.* 2012; 19: 21–8.
- Auvinen A, Hietanen M, Luukkonen R, Koskela RS. Brain tumours and salivary gland cancers among cellular telephone users. *Epidemiology.* 2002; 13: 356–359.
- Aydin D, Feychting M, Schüz J, et al. Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. *J Nat Cancer Inst.* 2011; 103: 1264–1276.
- Baldi I, Coureau G, Jaffre A et al.. Occupational and residential exposure to electromagnetic fields and risk of brain tumours in adults: a case-control study in Gironde, France. *Int J Cancer.* 2011; 129: 1477–1484.
- Balekouzou A, Yin P, Afewerky HK, Bekolo C, et al. Behavioral risk factors of breast cancer in Bangui of Central African Republic: A retrospective case-control study. *PLoS ONE* 2017; 12: e0171154.
- Baumgardt-Elms C, Ahrens W, Bromen K, et al. Testicular cancer and electromagnetic fields (EMF) in the work place: results of a population-based case-control study in Germany. *Cancer Causes Control.* 2002; 13: 895–902.

- Benson VS, Pirie K, Schüz J, et al. Million Women Study Collaborators. Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: prospective study. *Int J Epidemiol*. 2013;42:792–802.
- Berg G, Schiiz J, Samkange-Zeeb F, Blettner M. Assessment of radiofrequency exposure from cellular telephone daily use in an epidemiological study: German Validation study of the international case-control study of cancers of the brain-INTERPHONE Study. *J Expo Anal Environ Epidemiol*. 2005;15:217–224.
- Berg G, Spallek J, Schiiz J et al. INTERPHONE Study Group, Germany. Occupational exposure to radio frequency/microwave radiation and the risk of brain tumours: INTERPHONE Study Group, Germany. *Am J Epidemiol*. 2006;164:538–548.
- Cardis E, Armstrong BK, Bowman JD, et al. Risk of brain tumours in relation to estimated RF dose from mobile phones: results from five Interphone countries. *Occup Environ Med*. 2011;68:631–640.
- Cardis E, Deltour I, Mann S, et al. Distribution of RF energy emitted by mobile phones in anatomical structures of the brain. *Phys Med Biol*. 2008;53:2771–2783.
- Cardis E et al The INTERPHONE study: design, epidemiological methods, and description of the study population. *Eur J Epidemiol*. 2007;22: 647–664.
- Carlberg M, et al. Increasing incidence of thyroid cancer in the Nordic countries with main focus on Swedish data. 2016, *BMC cancer*, 16, 426–426.
- Carlberg M et al. Meningioma patients diagnosed 2007–2009 and the association with use of mobile and cordless phones: a case-control study. *Environmental Health* 2013 12:60.
- Christensen HC et al. Cellular telephone use and risk of acoustic neuroma. *Am J Epidemiol*. 2004;159:277–283.
- Christensen HC, Schüz J, Kosteljanetz M, et al. Cellular telephones and risk for brain tumors: a population-based, incident case-control study. *Neurology*. 2005;64: 1189–95.
- Cook A, Woodward A, Pearce N, Marshall C. Cellular telephone use and time trends for brain, head and neck tumours. *N Z Med J*. 2003;116(1175):U457.
- Cooke R, Laing S, Swerdlow AJ. A case-control study of risk of leukaemia in relation to mobile phone use. *Br J Cancer*. 2010;103: 1729–1735.
- Cooper D, Hemming K, Saunders P. Re: Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I. Sutton Coldfield transmitter; II. All high power transmitters. *Am J Epidemiol*. 2001;153:202–204.
- Coureau G, et al. Mobile phone use and brain tumours in the CERENAT case-control study. *Occup Environ Med*. 2014;71:514–22.
- Czeminski R, Zini A, Sgan-Cohen HD. Risk of parotid malignant tumours in Israel (1970–2006). *Epidemiology*, 2011;22: 130–131.
- Davis RL, Mostofi FK. Cluster of testicular cancer in police officers exposed to hand-held radar. *Am J Ind Med*. 1993;24:231–233.
- de Vocht F, Burstyn I, Cherrie JW. Time trends (1998–2007) in brain cancer incidence rates in relation to mobile phone use in England. *Bioelectromagnetics*. 2011;32:334–339.
- Degrave E, Meeusen B, Grivegne AR, et al. Causes of death among Belgian professional military radar operators: a 37-year retrospective cohort study. *Int J Cancer*. 2009;124:945–951.
- Deltour I, Johansen C, Auvinen A, et al. Time trends in brain tumour incidence rates in Denmark, Finland, Norway, and Sweden, 1974–2003. *J Natl Cancer Inst*. 2009;101: 1721–1724.
- Deltour I, Johansen C, Auvinen A, et al. Response: Re: Time Trends in Brain Tumour Incidence Rates in Denmark, Finland, Norway, and Sweden, 1974–2003. *J Natl Cancer Inst*, 2010;102: 742–743.
- Dolk H, Shaddick G, Walls P, Grundy C, Thakrar B, Kleinschmidt I, Elliott P. Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I. Sutton Coldfield transmitter. *Am J Epidemiol*. 1997;145:1–9.

- Dreyer NA, Loughlin JE, Rothman KJ. Cause-specific mortality in cellular telephone users. *JAMA*. 1999; 282: 1814–1816.
- Duan Y, Zhang Z, Bu RF. Correlation between cellular phone use and epithelial parotid gland malignancies. *Int J Oral Medicine*. 2011; 40: 9966–972.
- Eger H, Hagen KU, Lucas B et al. The influence of being physically near to a cell phone transmission mast on the incidence of cancer. *Umwelt Medizin Gesellschaft*. 2004; 7:1–7.
- Eger H and Neppe F. Krebsinzidenz von Anwohnern im Umkreis einer Mobilfunksendeanlage in Westfalen. *Umwelt Medizin Gesellschaft*. 2009; 22: 55–60.
- Elliott P, Toledano MB, Bennett J, Beale L, de Hoogh K, Best N, Briggs DJ. Mobile phone base stations and early childhood cancers: case-control study. *BMJ*. 2010; 340:c3077.
- Frei P, Mohler E, Biirgi A et al.; QUALIFEX Team. Classification of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields (RF-EMF) for epidemiological research: Evaluation of different exposure assessment methods. *Environ Int*. 2010; 36: 714–720.
- Frei P et al. Use of mobile phones and risk of brain tumours: update of Danish cohort study. *BMJ* 2011; 343:d6387.
- Gavin AT and Catney D. Addressing a community's cancer cluster concerns. *The Ulster Medical Society*. 2006; 75: 195–199.
- Gonzalez-Rubio J, Arribas E, Ramirez-Vazquez R, Najera A. Radiofrequency electromagnetic fields and some cancers of unknown etiology: An ecological study. *Sci Total Environ*. 2017; 599–600: 834–843.
- Gousias K, Markou M, Voulgaris S et al. Descriptive epidemiology of cerebral gliomas in northwest Greece and study of potential predisposing factors, 2005–2007. *Neuroepidemiology*. 2009; 33: 89–95.
- Grayson JK. Radiation exposure, socioeconomic status, and brain tumour risk in the US Air Force: a nested case-control study. *Am J Epidemiol*. 1996; 143: 480–486.
- Groves FD, Page WF, Gridley G, et al. Cancer in Korean war navy technicians: mortality survey after 40 years. *Am J Epidemiol*. 2002; 155: 810–818.
- Ha M, Im H, Kim BC, et al. Five authors reply. *Am J Epidemiol*. 2008; 167: 884–885.
- Ha M, Im H, Lee M et al. Radio-frequency radiation exposure from AM radio transmitters and childhood leukemia and brain cancer. *Am J Epidemiol*. 2007; 166: 270–279.
- Ha M, Lim HJ, Cho SH, et al. Incidence of cancer in the vicinity of Korean AM radio transmitters. *Arch Environ Health*. 2003; 58: 756–762.
- Hardell L, Hansson Mild K, Pahlson A, Hallquist A. Ionizing radiation, cellular telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev*. 2001; 10: 523–529.
- Hardell L, Hansson Mild K, Carlberg M. Case-control study on the use of cellular and cordless phones and the risk for malignant brain tumours. *Int J Radiat Biol*. 2002; 78: 931–936.
- Hardell L, Hansson Mild K, Carlberg M. Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours. *Int J Oncol*. 2003; 22: 399–407.
- Hardell L, Carlberg M. Mobile phones, cordless phones and the risk for brain tumours. *Int J Oncol*. 2009; 35: 5–17.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Pooled analysis of two case-control studies on the use of cellular and cordless telephones and the risk of benign brain tumours diagnosed during 1997–2003. *Int J Oncol*. 2006a; 28: 509–518.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Pooled analysis of two case-control studies on use of cellular and cordless telephones and the risk for malignant brain tumours diagnosed in 1997–2003. *Int Arch Occup Environ Health*. 2006b; 79: 630–639.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Epidemiological evidence for an association between use of wireless phones and tumour diseases. *Pathophysiology*. 2009; 16: 113–122.

- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Mobile phone use and the risk for malignant brain tumours: a case-control study on deceased cases and controls. *Neuroepidemiology*. 2010;35:109–114.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Pooled analysis of case-control studies on malignant brain tumours and the use of mobile and cordless phones including living and deceased subjects. *Int J Oneal*. 2011;38:1465–1474.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K, Eriksson M. Case-control study on the use of mobile and cordless phones and the risk for malignant melanoma in the head and neck region. *Pathophysiology*. 2011b;18:325–333.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Case-control study of the association between the use of cellular and cordless telephones and malignant brain tumours diagnosed during 2000–2003. *Environ Res*. 2006c;100:232–241.
- Hardell L, Carlberg M, Ohlson CG, et al. Use of cellular and cordless telephones and risk of testicular cancer. *Int J Androl*. 2007b;30:115–122.
- Hardell L, Carlberg M, Soderqvist F et al. Long-term use of cellular phones and brain tumours: increased risk associated with use for > or = 10 years. *Occup Environ Med*. 2007a;64:626–632.
- Hardell L, Carlberg M, Soderqvist F, Hansson Mild K. Meta-analysis of long-term mobile phone use and the association with brain tumours. *Int J Oncol*. 2008;32:1097–1103.
- Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Mild KH. Case-control study of the association between malignant brain tumours diagnosed between 2007 and 2009 and mobile and cordless phone use. *Int J Oncol*. 2013a;43:1833–45.
- Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Mild KH. 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*. 2013b;43:1036–44.
- Hardell L, Carlberg M. Mobile phone and cordless phone use and the risk for glioma – Analysis of pooled case-control studies in Sweden, 1997–2003 and 2007–2009, *Pathophysiology*; 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pathophys.2014.10.001>
- Hardell L, Eriksson M, Carlberg M, et al. Use of cellular or cordless telephones and the risk for non-Hodgkin's lymphoma. *Int Arch Occup Environ Health*. 2005;78:625–632.
- Hardell L and Hallquist A, Hansson Mild K et al. Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev*. 2002a;11:377–386.
- Hardell L, Hallquist A, Hansson Mild K et al. No association between the use of cellular or cordless telephones and salivary gland tumours. *Occup Environ Med*. 2004;61:675–679.
- Hardell L, Nasman A, Pahlson A, et al. Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: A case-control study. *Int J Oncol*. 1999;15:113–116.
- Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A. Case-control study on radiology work, medical x-ray investigations, and use of cellular telephones as risk factors for brain tumors. *Med Gen Med*. 2000;2(2):E2.
- Hartikka H. Mobile phone use and location of glioma: a case-case analysis. *Bioelectromagnetics*. 2009;30:176–182.
- Hauri DD, et al. Exposure to radio-frequency electromagnetic fields from broadcast transmitters and risk of childhood cancer: a census-based cohort study. *Am J Epidemiol*. 2014;179:843–51.
- Hayes RB, Brown LM, Pottern LM, et al. Occupation and risk for testicular cancer: a case-control study. *Int J Epidemiol*. 1990;19:825–831.
- Hepworth SJ, Schoemaker MJ, Muir KR, et al. Mobile phone use and risk of glioma in adults: case-control study. *BMJ*. 2006;332:883–887.
- Hocking B, Gordon IR, Grain HL, Hatfield GE. Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med J Aust*. 1996;165:601–605.

- Hours M, Bernard M, Montestrucq L, et al. Cell Phones and Risk of brain and acoustic nerve tumours: the French INTERPHONE case-control study. *Rev Epidemiol Sante Publique*. 2007;55: 321–332.
- IARC, International Agency for Research on Cancer. Non-ionizing radiation, Part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol 80. 2002. Lyon: International Agency for Research on Cancer.
- IARC, International Agency for Research on Cancer. Non-ionizing radiation, part II: radiofrequency electromagnetic fields. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol 102. 2013. Lyon: International Agency for Research on Cancer.
- Inskip PD, Devesa SS, Fraumeni JF Jr. Trends in the incidence of ocular melanoma in the United States, 1974–1998. *Cancer Causes Control*. 2003; 14:251–7.
- Inskip PD, Hoover RN, Devesa SS. Brain cancer incidence trends in relation to cellular telephone use in the United States. *Neuro-oncol*. 2010; 12: 1147–1151.
- Inskip PD, Tarone RE, Hatch EE, et al. Cellular-telephone use and brain tumors. *N Engl J Med*. 2001; 344:79–86.
- INTERPHONE Study Group. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Int J Epidemiol*. 2010; 39: 675–694.
- INTERPHONE Study Group. Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Cancer Epidemiol*. 2011; 35: 453–464.
- Johansen C, Boice J Jr, McLaughlin J, Olsen JH. Cellular telephones and cancer—a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst*. 2001; 93: 203–207.
- Johansen C, Boice JD Jr, McLaughlin JK et al. Mobile phones and malignant melanoma of the eye. *Br J Cancer*. 2002; 86: 348–349.
- Kan P, Simonsen SE, Lyon JL, Kestle JR. Cellular phone use and brain tumour: a meta-analysis. *J Neurooncol*. 2008; 86: 71–78.
- Karipidis KK, Benke G, Sim MR, et al. Occupational exposure to ionizing and non-ionizing radiation and risk of glioma. *Occup Med (Lond)*. 2008; 57: 518–524.
- Karipidis KK et al. Occupational exposure to ionizing and non-ionizing radiation and risk of non-Hodgkin lymphoma. *Int Arch Occup Environ Health*. 2007; 80: 663–70.
- Karipidis KK, Benke G, Sim MR, Kauppinen T, Giles G. Occupational exposure to ionizing and non-ionizing radiation and risk of glioma. *Occup Med (Lond)*. 2007; 57: 518–24.
- Kaufman DW, Anderson TE, Issaragrisil S. Risk factors for leukemia in Thailand. *Ann Hematol*. 2009; 88: 1079–1088.
- Khurana VG, Teo C, Kundi M, et al. Cell phones and brain tumours: a review including the long-term epidemiologic data. *Surg Neurol*. 2009; 72: 205–215.
- Klaeboe L, Blaasaas KG, Tynes T. Use of mobile phones in Norway and risk of intracranial tumours. *Eur J Cancer Prev*. 2007; 16: 158–164.
- Lagorio S, Rossi S, Vecchia P, et al. Mortality of plastic-ware workers exposed to radiofrequencies. *Bioelectromagnetics*. 1997; 18: 418–421.
- Lahkola A, Auvinen A, Raitanen J, et al. Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European countries. *Int J Cancer*. 2007; 120: 1769–1775.
- Lahkola A, Salminen T, Auvinen A. Selection bias due to differential participation in a case-control study of mobile phone use and brain tumours. *Ann Epidemiol*. 2005; 15: 321–325.
- Lahkola A, Salminen T, Raitanen J, et al. Meningioma and mobile phone use—a collaborative case-control study in five North European countries. *Int J Epidemiol*; 2008; 37: 1304–1313.
- Lahkola A, Tokola K, Auvinen A. Meta-analysis of mobile phone use and intracranial tumours. *Scand J Work Environ Health*. 2006; 32: 171–177.

- Larjavaara S, Schilz J, Swerdlow A, et al. Location of gliomas in relation to mobile telephone use: a case-case and case-specular analysis. *Am J Epidemiol.* 2011; 174: 2–11.
- Lehrer S, Green S, Stock RG. Association between number of cell phone contracts and brain tumour incidence in nineteen U.S. States. *Neuro-oncol.* 2011; 101:505–507.
- Li CY, Liu CC, Chang YH, Chou LP, Ko MC. A population-based case-control study of radiofrequency exposure in relation to childhood neoplasm. *Sci Total Environ.* 2012;435–436:472–8.
- Lilienfeld AM, Tonascia J, Libauer C, et al. Foreign Service Study: Evaluation of Foreign Service and Other Employees from Selected Eastern European Posts. NTIS Document No. PB-28B 163/9GA. 1978; 436.
- Linet MS, Taggart T, Severson RK, et al. Cellular telephones and non-Hodgkin lymphoma. *Int J Cancer.* 2006; 119: 2382–2388.
- Lonn S, Ahlborn A, Christensen HC, et al. Mobile phone use and risk of parotid gland tumour. *Am J Epidemiol.* 2006; 164: 637–643.
- Lonn S, Ahlborn A, Hall P, Feychting M, Swedish INTERPHONE Study Group. Long-term mobile phone use and brain tumour risk. *Am J Epidemiol.* 2005; 161: 526–535.
- Lonn S, Klæboe L, Hall P, et al. Incidence trends of adult primary intracerebral tumours in four Nordic countries. *Int J Cancer.* 2004; 108: 450–455.
- Luo J, et al. Cell phone use and risk of thyroid cancer: a population-based case-control study in Connecticut. *Ann Epidemiol.* 2019; 29: 39–45.
- Maskarinec G, Cooper J, Swygert L. Investigation of increased incidence in childhood leukemia near radio towers in Hawaii: preliminary observations. *J Environ Pathol Toxicol Oncol.* 1994;13: 33–37.
- Merzenich H, Schmiedel S, Bennack S et al. Childhood leukemia in relation to radio frequency electromagnetic fields in the vicinity of TV and radio broadcast transmitters. *Am J Epidemiol.* 2008; 168: 1169–1178.
- Meyer M, Giirtig-Daugis A, Radespiel-Troger M. Mobilfunkbasisstationen und Krebshäufigkeit in Bayern. *Umweltmed Forsch Prax.* 2006; 11: 89-97.
- Michelozzi P, Capon A, Kirchmayer U, et al. Adult and childhood leukemia near a high-power radio station in Rome, Italy. *Am J Epidemiol.* 2002; 155: 1096–1103.
- Milham S Jr. Increased mortality in amateur radio operators due to lymphatic and hematopoietic malignancies. *Am J Epidemiol.* 1988a; 127: 50–54.
- Milham S Jr. Mortality by license class in amateur radio operators. *Am J Epidemiol.* 1988b; 128: 1175–1176. PMID:3189292
- Morgan RW, Kelsh MA, Zhao K, et al. Radiofrequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems. *Epidemiology- 2000;* 11: 118–127.
- Muscat JE, Hinsvark M, Malkin M. Mobile telephones and rates of brain cancer. *Neuroepidemiology.* 2006; 27: 55–56.
- Muscat JE, Malkin MG, Shore RE, et al. Handheld cellular telephones and risk of acoustic neuroma. *Neurology.* 2002; 58: 1304–1306.
- Muscat JE, Malkin MG, Thompson S, et al. Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA.* 2000;284: 3001–3007.
- Myung SK, Ju W, McDonnell DD, et al. Mobile phone use and risk of tumours: a meta-analysis. *J Clin Oncol.* 2009; 27: 5565–5572.
- Nelson PD, Toledano MB, Mcconville J, et al. Trends in acoustic neuroma and cellular phones: is there a link? *Neurology.* 2006; 66: 284–285.
- Nomura E, Ioka A, Tsukuma H. Trends in the incidence of primary intracranial tumours in Osaka, Japan. *Jpn J Clin Oncol.* 2011; 41: 291–294.



- Oberfeld G. [Environmental Epidemiological Study of Cancer Incidence in the Municipalities of Hausmannstätten & Vasoldsberg (Austria)] Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung für das Gesundheitswesen (Landessanitätsdirektion), Printcenter Universität Salzburg, Graz, Österreich. 2008. <http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/ziel/21212/DE/> (deaktivierter Link).
- Park SK, Ha M, Im HJ. Ecological study on residences in the vicinity of AM radio broadcasting towers and cancer death: preliminary observations in Korea. *Int Arch Occup Environ Health*. 2004;77: 387–394.
- Pettersson D, et al. Long-term mobile phone use and acoustic neuroma risk. *Epidemiology*. 2014;25:233–41.
- Poulsen AH, et al. Mobile phone use and the risk of skin cancer: a nationwide cohort study in Denmark. *Am J Epidemiol*. 2013;178(2):190–7.
- Propp JM, McCarthy BJ, Davis FG, Preston-Martin S. Descriptive epidemiology of vestibular schwannomas. *Neuro-oncol*. 2006;8: 1–11.
- Richter E, Berman T, Ben-Michael E, et al. Cancer in radar technicians exposed to radiofrequency/micro-wave radiation: sentinel episodes. *Intl Occup Environ Health*. 2000; 6: 187–193.
- Robinette CD, Silverman C, Jablon S. Effects upon health of occupational exposure to microwave radiation (radar). *Am J Epidemiol*. 1980; 112: 39–53.
- Roosli M, Michel G, Kuehni CE, Spoerri A. Cellular telephone use and trends in brain tumour mortality in Switzerland from 1969 to 2002. *Eur J Cancer Prev*. 2007; 16:77–82.
- Sadetzki S, Chetrit A, Jarus-Hakak A, et al. Cellular phone use and risk of benign and malignant parotid gland tumours – a nationwide case-control study. *Am J Epidemiol*. 2008; 167: 457–467.
- Saika K, Katanoda K. Comparison of time trends in brain and central nervous system cancer mortality (1990–2006) between countries based on the WHO mortality database. *Jpn J Clin Oncol*. 2011; 41: 304–305.
- Samkange-Zeeb F, Berg G, Blettner M. Validation of self-reported cellular phone use. *J Expo Anal Environ Epidemiol*. 2004; 14: 245–248.
- Saracci R, Samet J. Commentary: Call me on my mobile phone... or better not? – a look at the INTERPHONE study results. *Int J Epidemiol*. 2010; 39: 695–698.
- Sato Y, Akiba S, Kubo O, Yamaguchi N. A case-case study of mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Bioelectromagnetics*. 2011; 32: 85–93.
- Satta G, et al. Estimates of Environmental Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields and Risk of Lymphoma Subtypes. *Radiat Res*. 2018; 189: 541–547.
- Schlehofer B, Schlaefer K, Blettner M, et al. INTERPHONE Study Group. Environmental risk factors for sporadic acoustic neuroma (Interphone Study Group, Germany). *Eur J Cancer*. 2007; 43: 1741–1747.
- Schmiedel S, Brillgemeyer H, Philipp J, et al. An evaluation of exposure metrics in an epidemiologic study on radio and television broadcast transmitters and the risk of childhood leukemia. *Bioelectromagnetics*. 2009; 30: 81–91.
- Schoemaker MJ and Swerdlow AJ. Risk of pituitary tumours in cellular phone users: a case-control study. *Epidemiology*. 2009; 20: 348–354.
- Schoemaker MJ, Swerdlow AJ, Ahlborn A et al. Mobile phone use and risk of acoustic neuroma: results of the Interphone case-control study in five North European countries. *Br J Cancer*. 2005; 93: 842–848.
- Schilz J, Bohler E, Berg G et al. Cellular phones, cordless phones, and the risks of glioma and meningioma (Interphone Study Group, Germany). *Am J Epidemiol*. 2006a 163: 512–520.



- Schilz J, Bohler E, Schlehofer B, et al. INTERPHONE Study Group, Germany . Radiofrequency electromagnetic fields emitted from base stations of DECT cord- less phones and the risk of glioma and meningioma (INTERPHONE Study Group, Germany). *Radiat Res.* 2006b; 166: 116–119.
- Schilz J, Elliott P, Auvinen A, et al. An international prospective cohort study of mobile phone users and health (Cosmos): design considerations and enrolment. *Cancer Epidemiol.* 2011; 35: 37–43.
- Schilz J, Jacobsen R, Olsen JH, et al. Cellular telephone use and cancer risk: update of a nation-wide Danish cohort. *J Natl Cancer Inst.* 2006c; 98: 1707–1713.
- Selvin S, Schulman J, Merrill DW. Distance and risk measures for the analysis of spatial data: a study of childhood cancers. *Soc Sci Med.* 1992; 34: 769–777.
- Söderqvist F, Carlberg M, Hardell L. Use of wireless phones and the risk of salivary gland tumours: a case-control study. *Eur J Cancer Prev.* 2012; 21: 576–9.
- Spinelli V, Chinot O, Cabaniols C, et al. Occupational and environmental risk factors for brain cancer: a pilot case-control study in France. *Presse Med.* 2010; 39: e35–e44.
- Stang A, Anastassiou G, Ahrens W, et al. The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. *Epidemiology.* 2001; 12: 7–12.
- Stang A, Schmidt-Pokrzywniak A, Lash TL, et al. Mobile phone use and risk of uveal melanoma: results of the risk factors for uveal melanoma case-control study. *Natl Cancer Inst.* 2009; 101: 120–123.
- Szmigielski S. Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation. *Sci Total Environ.* 1996; 180: 9–17.
- Szmigielski S, Sobiczewska E, Kubacki R. Carcinogenic potency of microwave radiation: over- view of the problem and results of epidemiological studies on Polish military personnel. *European Journal of Oncology.* 2001; 6: 193–199.
- Takebayashi T, Akiba S, Kikuchi Y, et al. Mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Occup Environ Med.* 2006; 63: 802–807.
- Takebayashi T, Varsier N, Kikuchi Y, et al. Mobile phone use, exposure to radiofrequencyelectromagnetic field, and brain tumour: a case-control study. *Br J Cancer.* 2008; 98: 652–659.
- Thomas TL, Stolley PD, Stemhagen A, et al. Brain tumour mortality risk among men with electrical and electronics jobs: a case-control study. *J Natl Cancer Inst.* 1987; 79: 233–238.
- Tynes T, Hannevik M, Andersen A, et al. Incidence of breast cancer in Norwegian female radio and telegraph operators. *Cancer Causes Control.* 1996; 7: 197–204.
- Viel JF, Clerc S, Barrera C, et al. Residential exposure to radiofrequency fields from mobile phone base stations, and broadcast transmitters: a population- based survey with personal meter. *Occup Environ Med.* 2009; 66: 550–556.
- Vila J, Turner MC, Gracia-Lavedan E, Figuerola J, et al. INTEROCC Study Group Occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields and brain tumour risk in the INTEROCC study: An individualized assessment approach. *Environment international.* 2018; 119, 353–365.
- Vrijheid M, Armstrong BK, Bedard D, et al. Recall bias in the assessment of exposure to mobile phones. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2009a; 19: 369–381.
- Vrijheid M, Cardis E, Armstrong BK et al.; INTERPHONE Study Group. Validation of short term recall of mobile phone use for the Interphone study. *Occup Environ Med.* 2006b; 63: 237–243.
- Vrijheid M, Deltour I, Krewski D, et al. The effects of recall errors and of selection bias in epidemiologic studies of mobile phone use and cancer risk. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2006a; 16: 371–384.
- Vrijheid M, Richardson L, Armstrong BK, et al. Quantifying the impact of selection bias caused by non participation in a case-control study of mobile phone use. *Ann Epidemiol.* 2009b; 19: 33–41.
- Yoon S et al. Mobile phone use and risk of glioma: a case-control study in Korea for 2002–2007. *Environ Health Toxicol.* 2015; 30: e2015015.

Wolf R and Wolf D . Increased incidence of cancer near a cell-phone transmitter station. *International Journal of Cancer Prevention*. 2004; 1: 123–128.

### 8.3 Literaturverzeichnis für die Überprüfung zum Thema Krebs bei Versuchstieren

Adey WR, Byus CV, Cain CD, et al. Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumours of the central nervous system in Fischer 344 rats exposed to frequency-modulated microwave fields. *Cancer Res*. 2000;60: 1857–1863.

Anane R, Dulou PE, Taxile M, et al. Effects of GSM-900 microwaves on DMBA-induced mammary gland tumours in female Sprague-Dawley rats. *Radiat Res*. 2003; 160:492–497.

Anderson LE, Sheen DM, Wilson BW, et al. Two-year chronic bioassay study of rats exposed to a 1.6 GHz radiofrequency signal. *Radiat Res*. 2004; 162: 201–210.

Anghileri LJ, Mayayo E, Domingo JL, Thouvenot P. Radiofrequency-induced carcinogenesis: cellular calcium homeostasis changes as a triggering factor. *Int J Radiat Biol*. 2005; 81: 205–209.

Bartsch H, Bartsch C, Seebald E, et al. Chronic exposure to a GSM-like signal (mobile phone) does not stimulate the development of DMBA-induced mammary tumours in rats: results of three consecutive studies. *Radiat Res*. 2002; 157: 183–190.

Bartsch H, Kupper H, Scheurlen U, et al. Effect of chronic exposure to a GSM-like signal (mobile phone) on survival of female Sprague-Dawley rats: modulatory effects by month of birth and possibly stage of the solar cycle. *Neuro Endocrinol Lett*. 2010;31: 457–473.

Breuer M, Slebos R, Verbeek S, et al. Very high frequency of lymphoma induction by a chemical carcinogen in pim-1 transgenic mice. *Nature*. 1989; 340: 61–63.

Chagnaud JL, Moreau JM, Veyret B. No effect of short-term exposure to GSM-modulated low-power microwaves on benzo(a)pyrene-induced tumours in rat. *Int J Radiat Biol*. 1999; 75: 1251–1256.

Chou CK, Guy AW, Kunz LL, et al. Long-term, low-level microwave irradiation of rats. *Bioelectromagnetics*. 1992; 13: 469–496.

Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, et al. Report of final results regarding brain and heart tumours in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. *Environ Res*. 2018; 165: 496–503.

Frei MR, Berger RE, Dusch SJ, et al. Chronic exposure of cancer-prone mice to low-level 2450 MHz radiofrequency radiation. *Bioelectromagnetics*. 1998a; 19: 20–31.

Frei MR, Jauchem JR, Dusch SJ, et al. Chronic, low-level (LO W/kg) exposure of mice prone to mammary cancer to 2450 MHz microwaves. *Radiat Res*. 1998b; 150: 568–576.

Heikkinen P, Ernst H, Huuskonen H, et al. No effects of radiofrequency radiation on 3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone-induced tumourigenesis in female Wistar rats. *Radiat Res*. 2006; 166: 397–408.

Heikkinen P, Kosma VM, Alhonen L, et al. Effects of mobile phone radiation on UV-induced skin tumourigenesis in ornithine decarboxylase transgenic and non-transgenic mice. *Int J Radiat Biol*. 2003; 79: 221–233.

Heikkinen P, Kosma VM, Hongisto T, et al. Effects of mobile phone radiation on X-ray-induced tumourigenesis in mice. *Radiat Res*. 2001; 156: 775–785.

Hruby R, Neubauer G, Kuster N, Frauscher M. Study on potential effects of "902-MHz GSM-type Wireless Communication Signals" on DMBA-induced mammary tumours in Sprague-Dawley rats. *Mutat Res*. 2008; 649: 34–44.

Huang TQ, Lee JS, Kim TH, et al. Effect of radiofrequency radiation exposure on mouse skin tumourigenesis initiated by 7,12-dimethylbenz[alpha]anthracene. *Int J Radiat Biol*. 2005; 81: 861–867.

- IARC, International Agency for Research on Cancer. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol 102. Non-ionizing radiation, part II: radiofrequency electromagnetic fields. 2013. Lyon: International Agency for Research on Cancer.
- Imaida K, Kuzutani K, Wang J, et al. Lack of promotion of 7,12-dimethylbenz[a]anthracene-initiated mouse skin carcinogenesis by 1.5 GHz electromagnetic near fields. *Carcinogenesis*. 2001;22:1837-41.
- Jauchem JR, Ryan KL, Frei MR, et al. Repeated exposure of C3H/HeJ mice to ultra-wideband electromagnetic pulses: lack of effects on mammary tumours. *Radiat Res*. 2001;155:369-377.
- La Regina M, Moros EG, Pickard WF, et al. The effect of chronic exposure to 835.62 MHz FDMA or 847.74 MHz CDMA radiofrequency radiation on the incidence of spontaneous tumours in rats. *Radiat Res*. 2003;160:143-151.
- Lee HJ, Jin YB, Lee JS, et al. Lymphoma development of simultaneously combined exposure to two radiofrequency signals in AKR/J mice. *Bioelectromagnetics*. 2011;32:485-92.
- Lerchl A, Klose M, Grote K, et al. Tumour promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans. *Biochem Biophys Res Commun*. 2015;17;459:585-90.
- Mason PA, Walters TJ, Di Giovanni J, et al. Lack of effect of 94 GHz radio frequency radiation exposure in an animal model of skin carcinogenesis. *Carcinogenesis*. 2001;22:1701-1708.
- National Toxicology Program. 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. Research Triangle Park, NC: National Toxicology Program; NTP TR-595; 2018a.
- National Toxicology Program. Toxicology and carcinogenesis studies in B6C3F1/N mice exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (1900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. Research Triangle Park, NC: National Toxicology Program; NTP TR-596; 2018b.
- National Toxicology program. Peer review of the draft NTP technical reports on cell phone radiofrequency radiation. March 26-28, 2018 [online]. 2018c. [https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/about\\_ntp/trpanel/2018/march/peerreview20180328\\_508.pdf](https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/about_ntp/trpanel/2018/march/peerreview20180328_508.pdf).
- Oberto G, Rolfo K, Yu P, et al. Carcinogenicity study of 217 Hz pulsed 900 MHz electromagnetic fields in Pim1 transgenic mice. *Radiat Res*. 2007;168:316-326.
- Paulraj R, Behari J. Effects of low level microwave radiation on carcinogenesis in Swiss Albino mice. *Mol Cell Biochem*. 2011;348:191-197.
- Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, et al. Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res*. 1997;147:631-640.
- Saran A, Pazzaglia S, Mancuso M, et al. Effects of exposure of newborn patched! heterozygous mice to GSM, 900 MHz. *Radiat Res*. 2007;168:733-740.
- Shirai T, Ichihara T, Wake K, et al. Lack of promoting effects of chronic exposure to 1.95-GHz W-CDMA signals for IMT-2000 cellular system on development of N-ethylnitrosourea-induced central nervous system tumours in F344 rats. *Bioelectromagnetics*. 2007;28:562-572.
- Shirai T, Kawabe M, Ichihara T, et al. Chronic exposure to a 1.439 GHz electromagnetic field used for cellular phones does not promote N-ethylnitrosourea induced central nervous system tumours in F344 rats. *Bioelectromagnetics*. 2005;26:59-68.
- Smith P, Kuster N, Ebert S, Chevalier HJ. GSM and DCS wireless communication signals: combined chronic toxicity/carcinogenicity study in the Wistar rat. *Radiat Res*. 2007;168:480-492.
- Sommer AM, Bitz AK, Streckert J, et al. Lymphoma development in mice chronically exposed to UMTS-modulated radiofrequency electromagnetic fields. *Radiat Res*. 2007;168:72-80.
- Sommer AM, Streckert J, Bitz AK, et al. No effects of GSM-modulated 900 MHz electromagnetic fields on survival rate and spontaneous development of lymphoma in female AKR/J mice. *BMC Cancer*. 2004;4:77.

- Szmigielski S, Szudzinski A, Pietraszek A, et al. Accelerated development of spontaneous and benzo-pyrene-induced skin cancer in mice exposed to 2450- MHz microwave radiation. *Bioelectromagnetics*. 1982; 3: 179–191.
- Szudzinski A, Pietraszek A, Janiak M, et al. Acceleration of the development of benzopyrene- induced skin cancer in mice by microwave radiation. *Arch Dermatol Res*. 1982; 274: 303–312.
- Tillmann T, Ernst H, Ebert S, et al. Carcinogenicity study of GSM and DCS wireless communication signals in B6C3F1 mice. *Bioelectromagnetics*. 2007; 28: 173–187.
- Tillmann T, Ernst H, Streckert J, et al. Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS- modulated radiofrequency exposure in an ethylnitro- sourea mouse model. *Int J Radiat Biol*. 2010; 86: 529–541.
- Toler JC, Shelton WW, Frei MR, et al. Long-term, low-level exposure of mice prone to mammary tumours to 435 MHz radiofrequency radiation. *Radiat Res*. 1997; 148: 227–234.
- Utteridge TD, Gebiski V, Finnie JW, et al. Long- term exposure of E-mu-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. *Radiat Res*. 2002; 158: 357–364.
- van Kreijl CF, van der Houven van Oordt CW, Kroese ED et al. Evaluation of the Emu-pim-1 transgenic mouse model for short-term carci- nogenicity testing. *Toxicol Pathol*. 1998; 26: 750–756.
- Wu RY, Chiang H, Shao BJ, et al. Effects of 2.45-GHz microwave radiation and phorbol ester 12-O- tetradecanoylphorbol-13-acetate on dimethylhydrazine-induced colon cancer in mice. *Bioelectromagnetics*. 1994; 15: 531–538.
- Yu D, Shen Y, Kuster N, et al. Effects of 900 MHz GSM wireless communication signals on DMBA- induced mammary tumours in rats. *Radiat Res*. 2006; 165: 174–180.
- Zook BC, Simmens SJ The effects of 860 MHz radi ofrequency radiation on the induction or promotion of brain tumours and other neoplasms in rats. *Radiat Res*. 2001; 155: 572–583.
- Zook BC, Simmens SJ . Effects of a cell phone radio-frequency (860 MHz) on the latency of brain tumours in rats. *Int Congr Ser*. 2002; 1236: 137–139.
- Zook BC, Simmens SJ. The effects of pulsed 860 MHz radiofrequency radiation on the promotion of neurogenic tumours in rats. *Radiat Res*. 2006; 165: 608–615.

## 8.4 Literaturverzeichnis für die Überprüfung der Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung beim Menschen

- Abad M, Malekafzali H, Simbar M, et al. Association between electromagnetic field exposure and abortion in pregnant women living in Tehran. *Iran J Reproductive Medicine*. 2016; 14: 347–354.
- Al-Bayyari N. The effect of cell phone usage on semen quality and fertility among Jordanian males. *Middle East Fertility Society Journal*. 2017; 22, 178–182.
- Al-Quzwini O, Al-Tae H, Al-Shaikh S. Male fertility and its association with occupational and mobile phone towers hazards: An analytic study. *Middle East Fertility Society Journal*. 2016; 21: 236–240.
- Baste V, Riise T, Moen BE. Radiofrequency electromagnetic fields; male infertility and sex ratio of offspring. *Eur J Epidemiol*. 2008; 23: 369–77.
- Blay RM, Pinamang AD, Sagoe AE, et al. Influence of Lifestyle and Environmental Factors on Semen Quality in Ghanaian Men. *Int J Reprod Med*. 2020: 6908458.
- Boileau N, Margueritte F, Gauthier T, et al. Mobile phone use during pregnancy: Which association with fetal growth? *J Gynecol Obstet Hum Reprod*. 2020; 49: 101852.
- Choi KH, Ha M, Ha EH, et al. Neurodevelopment for the first three years following prenatal mobile phone use, radio frequency radiation and lead exposure. *Environmental research*. 2017; 156, 810–817.
- Col-Araz N. Evaluation of factors affecting birth weight and preterm birth in southern Turkey. *J Pakistan Medical Association*. 2013; 63: 459–462.

- Divan HA, Kheifets L, Obel C, Olsen J. Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*. 2008; 19: 523–9.
- Divan HA, Kheifets L, Olsen J. Prenatal cell phone use and developmental milestone delays among infants. *Scandinavian Journal of Work Environmental Health*. 2011; 37: 341–348.
- Fejes I, Závaczki Z, Szöllösi J, et al. Is there a relationship between cell phone use and semen quality? *Archives of Andrology*. 2005; 51: 385–393.
- Guxens M, van Eijsden M, Vermeulen R, et al. Maternal cell phone and cordless phone use during pregnancy and behaviour problems in 5-year-old children. *Journal epidemiology community health*. 2013; 67: 432–8.
- Jurewicz J, Radwan M, Sobala W, et al. Lifestyle and semen quality: role of modifiable risk factors. *Systems Biology in Reproductive Medicine*. 2014; 60: 43–51
- Lewis RC, Mínguez-Alarcón L, Meeker JD, et al. Self-reported mobile phone use and semen parameters among men from a fertility clinic. *Reproductive toxicology (Elmsford, N.Y.)*. 2017; 67, 42–47.
- Lu X, Oda M, Ohba T, et al. Association of excessive mobile phone use during pregnancy with birth weight: an adjunct study in Kumamoto of Japan Environment and Children's Study. *Environmental Health and Preventive Medicine*. 2017; 22: 52.
- Mahmoudabadi F, Ziaei S, Firoozabadi M and Kazemnejad A. Use of mobile phone during pregnancy and the risk of spontaneous abortion. *J Environmental Health Science Engineering*. 2015; 13: 34.
- Mjøen G, Saetre DO, Lie RT, et al. Paternal occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields and risk of adverse pregnancy outcome. *European journal of epidemiology*. 2006; 21: 529–35.
- Møllerlækken OJ, Moen BE. Is fertility reduced among men exposed to radiofrequency fields in the Norwegian Navy? *Bioelectromagnetics*. 2008; 29: 345–52.
- Papadopoulou E, Haugen M, Schjølberg S, et al. Maternal cell phone use in early pregnancy and child's language, communication and motor skills at 3 and 5 years: the Norwegian mother and child cohort study (MoBa). *BMC Public Health*. 2017; 17: 685
- Radwan M, Jurewicz J, Merez-Kot D, et al. Sperm DNA damage-the effect of stress and everyday life Factors. *International Journal of Impotence Research*. 2016; 28: 148–154.
- Shi X, Pui Shan Chan C, Waters T, et al. Lifestyle and demographic factors associated with human semen quality and sperm function. *Systems Biology in Reproductive Medicine*. 2018; 64: 358–367.
- Sudan M, Birks LE, Aurrekoetxea JJ, et al. Maternal cell phone use during pregnancy and child cognition at age 5 years in 3 birth cohorts. *Environment International*. 2018; 120, 155–62.
- Tan TC, Neo GH, Malhotra R, et al. Lifestyle Risk Factors Associated with Threatened Miscarriage: A Case-Control Study. *Journal of Fertilization: In vitro - IVF-Worldwide, Reproductive Medicine, Genetics and Stem Cell Biology*. 2014; 2: 123.
- Tsarna E, Reedijk M, Birks LE, et al. Associations of Maternal Cell-Phone Use During Pregnancy With Pregnancy Duration and Fetal Growth in 4 Birth Cohorts. *American journal of epidemiology*. 2019; 188: 1270–1280.
- Yildirim M, Kaynar M, Badem H, et al. What is harmful for male fertility: Cell phone or the wireless internet? *Kaohsiung Journal of Medical Sciences*. 2015; 31, 480–484.
- Zarei S, Mortazavi SM, Mehdizadeh AR, et al. A Challenging Issue in the Etiology of Speech Problems: The Effect of Maternal Exposure to Electromagnetic Fields on Speech Problems in the Offspring. *Journal of biomedical physics and engineering*. 2015; 5: 151–4.
- Zhang G, Yan H, Chen Q, et al. Effects of cell phone use on semen parameters: Results from the MARHCS cohort study in Chongqing, China, *Environment International*. 2016; 91, 116–121.
- Zilberlicht A, Wiener-Megnazi Z, Sheinfeld Y et al. Habits of cell phone usage and sperm quality - does it warrant attention? *Reproductive BioMedicine Online*. 2015; 31, 421–426.



## 8.5 Literaturverzeichnis für die Überprüfung der Wirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit/Entwicklung bei Versuchstieren

- Al-Damegh MA. 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)*. 2012;67:785–92.
- Bilgici B, Gun S, Avci B, et al. What is adverse effect of wireless local area network, using 2.45 GHz, on the reproductive system? *Int J Radiat Biol*. 2018;94:1054–1061.
- Bin-Meferij MM, El-Kott OF. The neuroprotective effects of *Moringa oleifera* against mobile phone electromagnetic radiation-induced infertility in rats. *Int J Clin Exp. Med*. 2015;8:12487–97.
- Çelik S, Aridogan IA, Izol V, et al. An evaluation of the effects of long-term cell phone use on the testes via light and electron microscope analysis. *Urology*. 2012;79:346–50.
- Çelik Ö, Kahya MC, Nazıroğlu M. Oxidative stress of brain and liver is increased by Wi-Fi (2.45GHz) exposure of rats during pregnancy and the development of newborns. *J Chem Neuroanat*. 2016;75:134–9.
- Fatehi, Daryoush, et al. Biological effects of cell-phone radiofrequency waves exposure on fertilization in mice; an in vivo and in vitro study. *Middle East Fertility Society Journal*. 2018;23:148–153.
- Finnie JW, Blumbergs PC, Cai Z, et al. Effect of mobile telephony on blood-brain barrier permeability in the fetal mouse brain. *Pathology*. 2006;38:63–65.
- Finnie JW, Cai Z, Blumbergs PC, et al. Expression of the immediate early gene, *cfos*, in fetal brain after whole of gestation exposure of pregnant mice to global system for mobile communication microwaves. *Pathology*. 2006;38:333–335.
- Finnie JW, Chidlow G, Blumbergs PC, et al. Heat shock protein induction in fetal mouse brain as a measure of stress after whole of gestation exposure to mobile telephony radiofrequency fields. *Pathology* 2009;41:276–279.
- Fragopoulou AF, Koussoulakos SL, Margaritis LH. Cranial and postcranial skeletal variations induced in mouse embryos by mobile phone radiation. *Pathophysiology*. 2010;17:169–77.
- Gul A, Celebi H, Uğraş S. The effects of microwave emitted by cellular phones on ovarian follicles in rats. *Arch Gynecol Obstet*. 2009;280:729–33.
- Guo L, Lin JJ, Xue YZ, et al. Effects of 220 MHz Pulsed Modulated Radiofrequency Field on the Sperm Quality in Rats. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16:1286.
- Imai N, Kawabe M, Hikage T, et al. Effects on rat testis of 1.95-GHz WCDMA for IMT-2000 cellular phones. *Syst. Biol. Reprod. Med*. 2011;57:204–209.
- Lee HJ, Lee JS, Pack JK, et al. Lack of teratogenicity after combined exposure of pregnant mice to CDMA and WCDMA radiofrequency electromagnetic fields. *Radiat Res*. 2009;172:648–52.
- Lee HJ, Pack JK, Kim TH, et al. The lack of histological changes of CDMA cellular phone-based radio frequency on rat testis. *Bioelectromagnetics*. 2010;31:528–534.
- Lee HJ, Jin YB, Kim TH, et al. The effects of simultaneous combined exposure to CDMA and WCDMA electromagnetic fields on rat testicular function. *Bioelectromagnetics*. 2012;33:356–364.
- Liu Q, Si T, Xu X, et al. Electromagnetic radiation at 900 MHz induces sperm apoptosis through *bcl-2*, *bax* and *caspase-3* signaling pathways in rats. *Reprod Health*. 2015;12:65.
- Meo SA, Arif M, Rashied S, et al. Hypospermatogenesis and spermatozoa maturation arrest in rats induced by mobile phone radiation. *J Coll Physicians Surg. Pak*. 2011;21:262–265.
- Mugunthan N, Anbalagan J, Meenachi S. Effects of Long Term Exposure to a 2G Cell Phone Radiation (900 - 1900 MHz) on Mouse Testis. *International Journal of Science and Research*. 2014;3:523–529.

- Nelson BK, Conove DL, Brightwell WS, et al. Marked increase in the teratogenicity of the combined administration of the industrial solvent 2-methoxyethanol and radiofrequency radiation in rats. *Teratology*. 1991;43:621–634.
- Nelson BK, Conover DL, Shaw PB, et al. Interactive developmental toxicity of radiofrequency radiation and 2-methoxyethanol in rats. *Teratology*. 1994;50:275–293.
- Nelson BK, Conover DL, Krieg EF Jr, et al. Interactions of radiofrequency radiation-induced hyperthermia and 2-methoxyethanol teratogenicity in rats. *Bioelectromagnetics*. 1997;18:349–359.
- Nelson BK, Conover DL, Shaw PB, et al. Interactions of radiofrequency radiation on 2-methoxyethanol teratogenicity in rats. *J Appl Toxicol*. 1997;17:31–9.
- Nelson BK, Snyder DL, Shaw PB. Developmental toxicity interactions of methanol and radiofrequency radiation or 2-methoxyethanol in rats. *Int J Toxicol*. 2001;20:89–100.
- Ogawa K, Nabae K, Wang J, et al. Effects of gestational exposure to 1.95-GHz W-CDMA signals for IMT-2000 cellular phones: Lack of embryotoxicity and teratogenicity in rats. *Bioelectromagnetics*. 2009;30:205–12.
- Othman H, Ammari M, Rtibi K, et al. Postnatal development and behavior effects of in-utero exposure of rats to radiofrequency waves emitted from conventional WiFi devices. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2017;52:239–247.
- Ozguner M, Koyu A, Cesur G, et al. Biological and morphological effects on the reproductive organ of rats after exposure to electromagnetic field. *Saudi Medical Journal*. 2005;26:405–410.
- Ozlem Nisbet H, Nisbet C, Akar A, Cevik M, Karayigit MO. Effects of exposure to electromagnetic field (1.8/0.9 GHz) on testicular function and structure in growing rats. *Res Vet Sci*. 2012;93:1001–5.
- Özorak A, Nazıroğlu M, Çelik Ö, et al. 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*. 2013;156:221–9.
- Pandey, N.; Giri, S.; Das, S.; Upadhaya, P. Radiofrequency radiation (900 MHz)-induced DNA damage and cell cycle arrest in testicular germ cells in swiss albino mice. *Toxicol. Ind. Health*. 2017;33:373–384.
- Pandey N, Giri S. Melatonin attenuates radiofrequency radiation (900 MHz)-induced oxidative stress, DNA damage and cell cycle arrest in germ cells of male Swiss albino mice. *Toxicol. Ind. Health*. 2018;34:315–327.
- Poullietier de Gannes F, Billaudel B, Haro E, et al. Rat fertility and embryo fetal development: Influence of exposure to the Wi-Fi signal. *Reprod. Toxicol*. 2013;36:1–5.
- Sambucci M, Laudisi F, Nasta F, et al. Early life exposure to 2.45GHz WiFi-like signals: effects on development and maturation of the immune system. *Prog Biophys Mol Biol*. 2011;107:393–8.
- Saygin M, Asci H, Ozmen O, et al. Impact of 2.45 GHz microwave radiation on the testicular inflammatory pathway biomarkers in young rats: The role of gallic acid. *Environ Toxicol*. 2016;31:1771–1784.
- Shahin S, Mishra V, Singh SP, Chaturvedi CM. 2.45-GHz microwave irradiation adversely affects reproductive function in male mouse, *Mus musculus* by inducing oxidative and nitrosative stress. *Free Radic Res*. 2014;48:511–25.
- Shahin S, Singh SP, Chaturvedi, CM. Mobile phone (1800 MHz) radiation impairs female reproduction in mice, *Mus musculus*, through stress induced inhibition of ovarian and uterine activity. *Reproductive Toxicology*, 2017;73:41–60.
- Shahin S, Singh SP, Chaturvedi CM. 2.45 GHz microwave radiation induced oxidative and nitrosative stress mediated testicular apoptosis: Involvement of a p53 dependent bax-caspase-3 mediated pathway. *Environ Toxicol*. 2018;33:931–945.
- Shirai T, Wang J, Kawabe M, et al. No adverse effects detected for simultaneous whole-body exposure to multiple-frequency radiofrequency electromagnetic fields for rats in the intrauterine and pre- and post-weaning periods. *J Radiat Res*. 2017;58:48–58.



- Sommer, AM, Grote, K, Reinhardt T, et al. Effects of radiofrequency electromagnetic fields (UMTS) on reproduction and development of mice: A multi-generation study. *Radiat. Res.* 2009; 171: 89–95.
- Stasinopoulou M, Fragopoulou AF, Stamatakis A, et al. Effects of pre- and postnatal exposure to 1880-1900MHz DECT base radiation on development in the rat. *Reprod Toxicol.* 2016; 65:248–262.
- Yu G, Tang Z, Chen H, et al. Long-term exposure to 4G smartphone radiofrequency electromagnetic radiation diminished male reproductive potential by directly disrupting Spock3-MMP2-BTB axis in the testes of adult rats. *Sci Total Environ.* 2020; 698:133860.
- Zhang Y, Li Z, Gao Y, Zhang C. Effects of fetal microwave radiation exposure on offspring behavior in mice. *J Radiat Res.* 2015; 56:261–8.
- Zhu S, Zhang J, Liu C, et al. Dominant lethal mutation test in male mice exposed to 900MHz radiofrequency fields. *Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen.* 2015; 792: 53–7.

---

Die letzten Jahrzehnte haben eine beispiellose Entwicklung in der drahtlosen Kommunikationstechnologien (Mobilfunk, Wi-Fi) erlebt. Es wird erwartet, dass die bevorstehende Einführung der 5G-Technologie in der gesamten EU neue Möglichkeiten für Bürger und Unternehmen durch schnelleres Surfen im Internet, Streaming und Herunterladen sowie durch eine bessere Konnektivität bietet. Allerdings kann 5G zusammen mit 3G und 4G, mit denen es mehrere Jahre parallel betrieben wird, auch eine Bedrohung für die menschliche Gesundheit darstellen. Dieser STOA-Bericht soll eine Bilanz unseres derzeitigen Verständnisses der gesundheitlichen Auswirkungen von 5G ziehen.

---

Eine Veröffentlichung des Referats Wissenschaftliche Vorausschau (STOA)  
EPRS | Wissenschaftlicher Dienst des Europäischen Parlaments

Dieses Dokument wurde für die Mitglieder und Bediensteten des Europäischen Parlaments erarbeitet und soll ihnen als Hintergrundmaterial für ihre parlamentarische Arbeit dienen. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Dokuments liegt ausschließlich bei dessen Verfasser/n. Die darin vertretenen Auffassungen entsprechen nicht unbedingt dem offiziellen Standpunkt des Europäischen Parlaments.

