



Europäisches Parlament

STOA-Studie: Gesundheitliche Auswirkungen von 5G

Herausgegeben vom
Technikfolgenausschuss
des Europäischen
Parlaments (STOA)



Deutsche Übersetzung
der Auswertung des
Forschungsstandes

Original-Studie

AUSGABE JANUAR 2022

Impressum

brennpunkt: Ausgabe Januar 2022
Online Veröffentlichung auf www.EMFdata.org

Bestellung Printausgabe:

shop.diagnose-funk.org/dokumentationen
Bestellnr. 544
bestellung@diagnose-funk.de

Herausgeber und V.i.S.d.P

Diagnose-Funk e.V.
Postfach 15 04 48
D-70076 Stuttgart
www.diagnose-funk.org

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

Unterstützen Sie diagnose:funk als Förderer

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

Spendenkonto

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

EU-Bericht analysiert Studienlage

Gesundheitliche Auswirkungen von 5G

Aktueller Kenntnisstand über die mit 5G verbundenen karzinogenen und reproduktiven Entwicklungsrisiken

Vorwort diagnose:funk: Das Science and Technology Options Assessment Komitee (STOA) des Europäischen Parlaments veröffentlichte im Juni 2021 die Studie "Gesundheitliche Auswirkungen von 5G. Aktueller Kenntnisstand über die mit 5G verbundenen karzinogenen und reproduktiven Entwicklungsrisiken, wie sie sich aus epidemiologischen Studien und experimentellen In-vivo-Studien ergeben". Das STOA-Komitee ist ein Ausschuss des Europaparlamentes, der sich mit Wissenschaft und Technikfolgenabschätzung befasst.

Die Studie wurde im Auftrag der STOA erarbeitet, das kompetente Autorenteam setzt sich aus Wissenschaftlern des Ramazzini-Institutes (Italien) zusammen, das führend auf diesem Gebiet ist. Die Studie hat 198 Seiten.

Diagnose:funk veröffentlicht die Übersetzung dieser Auswertung des Forschungsstandes zu den Auswirkungen der bisher angewandten Mobilfunkfrequenzen (GSM, UMTS, LTE) und zur neuen 5G-Technologie zu den Endpunkten Krebs und Fertilität.

Die Studienlage zu diesen zwei Endpunkten mit scheinbar widersprüchlichen Studienergebnissen wird transparent ausgewertet und geklärt, wie unhaltbar Behauptungen sind, von diesen Technologien würden keine Gesundheitsgefahren ausgehen. Darüber hinaus gibt es zu vielen weiteren Endpunkten Forschungsergebnisse, auf der Datenbank www.EMFData.org dokumentiert sind.

Die Ergebnisse des STOA-Berichtes lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- In der Zusammenschau der Ergebnisse aus der Epidemiologie, in-vivo und in-vitro Studien liegen Nachweise aus Tierversuchen für ein krebsauslösendes Potenzial v.a. der bisher angewandten Mobilfunk-Frequenzbereiche von GSM, UMTS und LTE (FR1: 700 bis 3.800 MHz) vor, ebenso zu negativen Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit.
- Zu 5G im höheren Frequenzbereich (FR2: 24,25 bis 52,6 GHz) liegen keine angemessenen Studien vor. Deswegen bezeichnet die Studie 5G als ein Experiment an der Bevölkerung.
- Bei der Beurteilung müssen die nicht-thermischen Auswirkungen berücksichtigt werden, was bisher nicht gemacht wurde. Dafür wird die ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) direkt kritisiert. Die Referenzwerte ihrer Richtlinien schützen nur vor thermischen Wirkungen.
- Die Autoren der Studie fordern einen 5G-Ausbaustopp (für 5G im höheren Frequenzbereich, FR2: 24,25 bis 52,6 GHz), weitere Forschung über die hohen 5G-Frequenzen FR2, Aufklärung der Bevölkerung und den Schwerpunkt auf den Ausbau von Glasfasernetzen.

Das ist ein zweierlei Hinsicht bedeutend: Die Wahrscheinlichkeit, dass die Strahlung der bisher angewandten Frequenzen (FR1: 450 bis 6000 MHz) Krebs auslösend ist, die Fruchtbarkeit und insbesondere vulnerable Organismen schädigt, wird durch neueste Forschungsergebnisse bestätigt. Wer behauptet, 5G (FR2: 24 bis 100 GHz) sei unbedenklich, gibt Nichtwissen als Wissen aus.

Der Bericht schlägt deshalb als Konsequenzen vor:

7.1 Entscheidung für eine neue Technologie für Mobiltelefone, die eine Verringerung der HF-Belastung ermöglicht ...

7.2 Überarbeitung der Expositionsgrenzwerte für die Öffentlichkeit und die Umwelt, um die HF-Exposition durch Mobilfunkmasten zu verringern ...

7.3 Verabschiedung von Maßnahmen, die Anreize zur Verringerung der HF-EMF-Exposition schaffen ...

7.4 Förderung multidisziplinärer wissenschaftlicher Forschung, um die langfristigen gesundheitlichen Auswirkungen von 5G zu bewerten und eine geeignete Methode zur Überwachung der Exposition gegenüber 5G zu finden ...

7.5 Förderung von Informationskampagnen über 5G." (S. 152ff)

Diesem STOA-Bericht gingen bereits zwei Untersuchungsberichte wissenschaftlicher Dienste des Europäischen Parlaments zu Gesundheit und 5G voraus, die in der Diskussion in Deutschland bisher nicht beachtet wurden.

◆ **Blackman C., Forge S. (2019): 5G Deployment: State of Play in Europe, USA and Asia.**

In dieser Studie für das EU-Parlament werden Bedenken hinsichtlich der möglichen Auswirkungen auf die Gesundheit und Sicherheit geäußert, die sich aus einer potenziell höheren Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung durch 5G ergeben könnten. Eine erhöhte Exposition kann sich nicht nur aus der Verwendung wesentlich höherer Frequenzen bei 5G ergeben (FR 2: 24,25 bis 52,6 GHz), sondern auch aus dem Potenzial der Bündelung verschiedener Signale, ihrer Dynamik und den komplexen Interferenzeffekten, die insbesondere in dichten Stadtgebieten auftreten können. In der Studie heißt es:

*"Es gibt **erhebliche Bedenken** hinsichtlich der möglichen **Auswirkungen auf die Gesundheit und Sicherheit**, die sich aus einer **potenziell viel höheren Belastung** durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung **durch 5G** ergeben könnten ... Die **5G-Funkemissionsfelder unterscheiden sich deutlich** von denen früherer Generationen **durch** ihre komplexen **strahlförmigen Übertragungen** (Beamforming, df) von der Basisstation über das Mobilteil und zurück. Obwohl die Felder der Strahlen stark fokussiert werden, variieren sie schnell mit Zeit und Bewegung und **sind daher unvorhersehbar**, da die Signalpegel und -muster als geschlossenes System interagieren. Dies muss noch zuverlässig für reale Situationen außerhalb des Labors abgebildet werden." (S.11/12).*

◆ **Karaboytcheva M. (2020): Effects of 5G wireless communication on human health**

Mit einem Briefing weist der wissenschaftliche Dienst des Europäischen Parlaments die Abgeordneten auf die Risiken der 5G-Mobilfunktechnologie hin. Der eindeutige Tenor: Aufgrund des Forschungsstandes darf 5G nicht eingeführt werden. Im Briefing werden all die Beschlüsse von EU-Gremien seit 1999 aufgezählt, in denen immer wieder auf die Gesundheitsgefahren hingewiesen wird und die Regierungen aufgefordert werden, Schutzmaßnahmen zu ergreifen und VerbraucherInnen über Gesundheitsgefahren durch Mobilfunkstrahlung aufzuklären. Eine Hauptaussage zu Gesundheitsgefahren durch 5G im Briefing lautet:

„Verschiedene Studien deuten darauf hin, dass 5G die Gesundheit von Menschen, Pflanzen, Tieren, Insekten und Mikroben beeinträchtigen könnte - und da 5G eine noch nicht getestete Technologie ist, wäre ein vorsichtiger Ansatz angebracht.“

Fazit: Die Bevölkerung muss über die Risiken informiert werden, die Schutzverordnungen und Grenzwerte müssen an den Stand der Forschung angepasst und es muss eine Politik der Strahlenminimierung mit staatlichen regulatorischen Maßnahmen durchgesetzt werden.

diagnose:funk fordert Ärzteverbände und Politiker, insbesondere aus dem Gesundheitswesen, auf, sich mit diesen Dokumenten zu befassen und daraus notwendige Veränderungen in der Strahlenschutz- und Industriepolitik einzuleiten.

Der diagnose:funk-Vorstand dankt seinem Büroteam für diese Übersetzung. Bei eventuellen Unklarheiten gilt der englische Originaltext, die Seitenreihenfolge zu ihm ist im Haupttext identisch.

Die Analysen wissenschaftlicher Dienste des Europäischen Parlaments:

Belpoggi, F.: Health impact of 5G; Panel for the Future of Science and Technology (STOA), European Parliament (2021); [[https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU\(2021\)690012](https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/document/EPRS_STU(2021)690012)]

Auf der diagnose:funk Homepage:

<https://www.diagnose-funk.org/1740>

Blackman C., Forge S. (2019): 5G Deployment: State of Play in Europe, USA, and Asia; In-Depth-Analysis, Requested by the ITRE Committee;

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2019/631060/IPOL_IDA\(2019\)631060_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2019/631060/IPOL_IDA(2019)631060_EN.pdf)

Auf der diagnose:funk Homepage:

<https://www.diagnose-funk.org/1388>

Karaboytcheva M. (2020): Effects of 5G wireless communication on human health. EPRS - European Parliamentary Research Service, Members' Research Service PE 646.172. [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)

[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)

Auf der diagnose:funk Homepage:

<https://www.diagnose-funk.org/1530>

Impressum:

Diagnose-Funk e.V.

Postfach 1504 48

D -70076 Stuttgart

Spendenkonto: Diagnose-Funk e.V.

IBAN DE 39 4306 0967 7027 7638 00

GLS Bank

BIC: GENODEM1GLS

Januar 2022

Bestellnummer 544

diagnose:funk
Technik sinnvoll nutzen



Europäisches Parlament

Gesundheitliche Auswirkungen von 5G

STUDY

Panel for the Future of Science and Technology

EPRS | European Parliamentary Research Service

Scientific Foresight Unit (STOA)

PE 690.012 – June

Gesundheitliche Auswirkungen von 5G

Aktueller Kenntnisstand über 5G-bedingte krebserregende und reproduktive/entwicklungsbezogene Gefahren, wie sie sich aus epidemiologischen Studien und experimentellen In-vivo-Studien ergeben

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: Verwendung von Antennen mit mehreren Eingängen und Ausgängen), eine gerichtete Signalübertragung oder ein gerichteter Signalempfang (Beamforming) und die Nutzung anderer Frequenzbereiche. Gleichzeitig wird eine Veränderung der Belastung durch elektromagnetische Felder (EMF) für Mensch und Umwelt erwartet. Die auf EU-Ebene identifizierten 5G-Pionierbänder umfassen zusätzlich zu den bisher genutzten Frequenzen die Bereiche 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 sowohl in epidemiologischen als auch in experimentellen Studien auf verschiedene Endpunkte hin untersucht (einschließlich Karzinogenität und Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung), während 26 GHz (FR2) und höhere Frequenzen nicht ausreichend auf dieselben Endpunkte hin untersucht worden sind.

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) stufte hochfrequente 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 Übersichtsarbeit befasst sich mit den aktuellen Erkenntnissen über die karzinogenen und reproduktiven/entwicklungsbezogenen Gefahren von HF, wie sie von 5G genutzt werden. Es gibt verschiedene experimentelle und epidemiologische In-vivo-Studien zu HF im unteren Frequenzbereich (450 bis 6000 MHz), zu dem auch die in den zellularen Breitbandnetzen früherer Generationen verwendeten Frequenzen gehören, aber nur sehr wenige (und unzureichende) über den höheren Frequenzbereich (24 bis 100 GHz, Zentimeter/MMW).

Der Überblick zeigt: 1) Niedrigere 5G-Frequenzen (700 und 3 600 MHz): a) begrenzte Beweise für Karzinogenität in epidemiologischen Studien; b) ausreichende Beweise für Karzinogenität in experimentellen Bioassays; c) ausreichende Beweise für schädliche Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung beim Menschen; d) ausreichende Beweise für schädliche Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung bei Versuchstieren; 2) Höhere 5G-Frequenzen (24,25-27,5 GHz): die systematische Überprüfung ergab keine ausreichenden Studien, weder beim Menschen noch bei Versuchstieren. Schlussfolgerungen: 1) Krebs: FR1 (450 bis 6 000 MHz): EMF sind wahrscheinlich krebserregend für den Menschen, insbesondere in Bezug auf Gliome und Akustikusneurinome; FR2 (24 bis 100 GHz): Es wurden keine angemessenen Studien zu den höheren Frequenzen durchgeführt; 2) Auswirkungen auf die reproduktive Entwicklung: FR1 (450 bis 6 000 MHz): Diese Frequenzen beeinträchtigen eindeutig die männliche und möglicherweise auch die weibliche Fruchtbarkeit. Sie können sich möglicherweise negativ auf die Entwicklung von Embryonen, Föten und Neugeborenen auswirken; FR2 (24 bis 100 GHz): Es wurden keine angemessenen Studien zu den nichtthermischen Auswirkungen der höheren Frequenzen durchgeführt.

AUTOR

Diese Studie wurde von Dr. Fiorella Belpoggi, BSc, PhD, International Academy of Toxicologic Pathology Fellow (IATPF), Ramazzini Institute, Bologna (Italien), im Auftrag des Gremiums Panel for the Future of Science and Technology Zukunft (STOA) verfasst und vom Referat Wissenschaftliche Vorausschau innerhalb der Generaldirektion Parlamentarische Forschungsdienste (EPRS) des Sekretariats des Europäischen Parlaments verwaltet.

Die Scoping-Review-Suche 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 Institute, Bologna (Italien), der die Methodik beriet und überprüfte; Prof. Dr. Carlo Foresta und Prof. Dr. Andrea Garolla, Professoren für Endokrinologie und Andrologie, Universität Padua (Italien), die die Ergebnisse zu den schädlichen Auswirkungen auf die Fortpflanzung beim Menschen kritisch überprüften; Prof. Fausto Bersani, Physiker, Berater, Rimini (Italien), der sie bei der Interpretation der Arbeiten zum Expositionsszenario unterstützte.

VERANTWORTLICHER ADMINISTRATOR

Gianluca Quaglio, Referat Wissenschaftliche Vorausschau (STOA)

Um den Herausgeber zu kontaktieren, senden Sie bitte eine E-Mail an stoa@ep.europa.eu.

SPRACHLICHE FASSUNG

Original: EN. Deutsche Fassung herausgegeben von diagnose:funk, Januar 2022

Manuskript abgeschlossen im Juli 2021.

HAFTUNGSAUSSCHLUSS UND URHEBERRECHT

Dieses Dokument wurde für die Mitglieder und Mitarbeiter des Europäischen Parlaments als Hintergrundmaterial zur Unterstützung ihrer parlamentarischen Arbeit erstellt und richtet sich an diese. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Dokuments liegt allein bei seinem Verfasser, und die darin zum Ausdruck gebrachten Meinungen sind nicht als offizieller Standpunkt des Parlaments zu verstehen.

Die Vervielfältigung und Übersetzung zu nichtkommerziellen Zwecken ist gestattet, sofern die Quelle angegeben und das Europäische Parlament vorab unterrichtet wird und ein Exemplar erhält.

Brüssel © Europäische Union, 2021.

PE 690.012

ISBN: 978-92-846-8030-6

doi: 10.2861/657478

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)

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 verwendet wird, und z. B. Wi-Fi, das elektromagnetische Felder (EMF) im Hochfrequenzbereich (RF) nutzt.

Die erste Generation von tragbaren Mobiltelefonen war Ende der 1980er Jahre verfügbar. In der Folgezeit haben die zweite (2G), dritte (3G) und vierte (4G, Long Term Evolution = LTE) Generation ihren Verbreitungsgrad in der Gesellschaft drastisch erhöht, so dass es heute in Europa mehr Geräte als Einwohner gibt. Darüber hinaus sind Wi-Fi und andere Formen der drahtlosen Datenübertragung inzwischen allgegenwärtig und weltweit verfügbar. Dennoch gibt es neue Ungleichheiten beim Zugang zum Hochgeschwindigkeitsinternet (selbst in Ländern mit hohem Einkommen), und die Kontrolle durch autoritäre Regime zeigt Risiken für die Demokratie und die europäischen Werte.

Die Einführung der nächsten Generation von Funkfrequenzen, 5G, hat in den Mobilfunknetzen begonnen. Bei 5G handelt es sich nicht um eine völlig neue Technologie, sondern um eine Weiterentwicklung der bereits bestehenden G1- bis G4-Technologien. 5G-Netze werden in mehreren verschiedenen Frequenzbändern arbeiten, von denen die niedrigeren Frequenzen für die erste Phase der 5G-Netze vorgeschlagen werden. Mehrere dieser Frequenzen wurden oder werden bereits für frühere Mobilfunkgenerationen genutzt. Es gibt auch Pläne, in späteren Phasen der 5G-Technologieentwicklung wesentlich höhere Funkfrequenzen zu verwenden. Die neuen Bänder liegen deutlich oberhalb des sog. Ultrahochfrequenzbereichs (UHF) und haben Wellenlängen im Zentimeterbereich (3-30 GHz) oder im Millimeterbereich (MMW) bei 30-300 GHz. Die letztgenannten Bänder werden traditionell für Radar- und Mikrowellenverbindungen genutzt, und nur sehr wenige wurden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit untersucht.

2. Methodik

Diese Übersicht über die derzeit verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse konzentriert sich sowohl auf die karzinogenen als auch auf die reproduktiven/entwicklungsrelevanten Wirkungen von HF aus Mobilfunk-Telekommunikationssystemen, die 2G-5G-Netze nutzen, und stützt sich dabei sowohl auf In-vivo-Tierstudien als auch auf epidemiologische Studien am Menschen. Die bewerteten Studien wurden in zwei Gruppen eingeteilt:

1) Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF im unteren Frequenzbereich (FR) (FR1: 450 bis 6000 MHz), zu dem auch die Frequenzen gehören, die in den bestehenden 2 bis 4 Generationen des zellularen Breitbandnetzes verwendet werden. Die aktuellen Erkenntnisse aus den 2G-4G-Studien sind die besten derzeit verfügbaren Erkenntnisse. Die Studien wurden mit narrativen Methoden ausgewertet.

2) Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung bei höheren FR (FR2: 24 bis 100 GHz - MMW). 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 mit einer Scoping-Review-Methode betrachtet.

Der narrative Review (FR1) wird vom Scoping Review (FR2) unterschieden, aber die Auswahl- und Bewertungskriterien, die für Scoping Reviews angegeben sind, wurden für beide Recherchen und für die Einbeziehung/Ausschließung von Studien zu den biologischen Endpunkten Krebs und Fortpflanzung/Entwicklung übernommen.

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

Ausreichende Nachweise: Ein kausaler Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und der spezifischen schädlichen Wirkung wurde nachgewiesen. Das heißt, es wurde ein positiver Zusammenhang in der Gesamtheit der Nachweise zu folgenden Themen festgestellt. Exposition gegenüber dem Agens und der spezifischen schädlichen Auswirkung in Studien, in denen Zufall, Verzerrungen und Störfaktoren mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden konnten.

Begrenzte Nachweise: Eine kausale Interpretation des positiven Zusammenhangs, der in der Evidenzbasis zur Exposition gegenüber HF-EMF und der spezifischen schädlichen Wirkung beobachtet wurde, ist glaubwürdig, aber Zufall, Verzerrung oder Störfaktoren können nicht mit angemessener Sicherheit ausgeschlossen werden.

Keine Nachweise: Es liegen keine Daten oder Nachweise vor, die auf das Fehlen schädlicher Wirkungen hindeuten (zu spezifizieren).

Die Gesamtbewertung sowohl für Krebs als auch für Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung wurde durch die Zusammenschau der Nachweise für Mensch und Tier wie folgt ermittelt:

Evidence in humans	Evidence in experimental animals	Evaluation based on strength of evidence
Sufficient	Not necessary	Clear association between exposure and the adverse effect
Limited	Sufficient	Probable association between exposure and the adverse effect
Limited	Less than sufficient	Possible association between exposure and the adverse effect
Inadequate	Inadequate or limited	Not classifiable

3. Expositionsabschätzung

Die Frage der Expositionsabschätzung bei der Einführung von 5G ist kompliziert, vor allem im Hinblick auf die Überwachung der kontinuierlichen Änderungen der Aktivität sowohl von Basisstationen (BS) als auch von Nutzergeräten (UE) im Zusammenhang mit der MIMO-Technologie (Multiple Input, Multiple Output). Darüber hinaus wird der technische Ansatz für die Expositionsbewertung im Zukunftsszenario, der sich auf die gleichzeitigen Emissionen von 1G, 2G, 3G, 4G und 5G bezieht, noch immer formuliert und ist daher unsicher.

4. Nichtthermische Wirkungen

Die schädlichen Auswirkungen nicht-thermischer biologischer Wechselwirkungen von HF-EMF mit menschlichem und tierischem Gewebe wurden bei der Festlegung der ICNIRP 2020-Leitlinien (ICNIRP 2020a) nicht berücksichtigt, obwohl eine große Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen vorliegt, die die Schädlichkeit oder potenzielle Schädlichkeit dieser Auswirkungen belegen. Es gibt athermische Bioresonanzen, und in der Tat werden einige Frequenzen zu therapeutischen Zwecken in einer Reihe von Bereichen der Medizin eingesetzt. Wie wir wissen, kann jedes Medikament, selbst das vorteilhafteste, auch einige unerwünschte Wirkungen mit sich bringen. Daher müssen bei der Risikobewertung sowohl thermische als auch nicht-thermische Wirkungen von HF-EMF berücksichtigt werden.

5. Aktueller Stand der Forschung zu HF-EMF

Die Einführung von drahtlosen Kommunikationsgeräten, die im HF-Bereich 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 Untersuchungen am Menschen (epidemiologische Studien), an Tieren (experimentelle Studien mit Nagetieren) und an zellulären in-vitro-Systemen.

Die 5G-Netze werden die Zahl der drahtlosen Geräte erhöhen, was eine viel größere Infrastruktur erfordert, um ein höheres mobiles Datenvolumen pro geografischem Gebiet zu ermöglichen. Außerdem muss eine höhere Netzdichte aufgebaut werden, da die für 5G benötigten höheren Frequenzen (24 bis 100 GHz, MMW) eine geringere Reichweite haben. Zu diesen Frequenzen liegen nur wenige Studien von unterschiedlicher Qualität vor.

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

In Bezug auf Krebs definierte die IARC 2011 die Analyse 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 "begrenzten Nachweisen auf Karzinogenität" beim Menschen und bei Versuchstieren. Die im Jahr 2011 verfügbaren Studien untersuchten HF in dem Bereich, den wir hier als FR1 bezeichnen, d. h. von 450 bis 6 000 MHz. Die FR2-Frequenzen (24 bis 100 GHz) liegen im MMW-Bereich.

Die IARC-Analyse von 2011 untersuchte HF-EMF. Während es keine Studien zu 5G gab, wurden einige Studien zu hochfrequenten beruflichen Radar- und Mikrowellenexpositionen einbezogen.

Die neuen MMW-Frequenzen (FR2: 24 bis 100 GHz) werden zu den bereits genutzten niedrigeren Frequenzen hinzukommen, unter anderem durch 5G. Daraus folgt, dass es für 5G im Bereich von 450 bis 6.000 MHz (FR1) viele 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 die möglichen negativen Auswirkungen auf die Gesundheit untersucht. Der einfache Grund dafür ist, dass diese Frequenzen bisher nicht für die Massenkommunikation genutzt wurden und es daher nur wenige geeignete Populationen gab, die diesen Frequenzen ausgesetzt waren, um sie zu untersuchen; ebenso gibt es nur sehr wenige adäquate Studien über nicht-thermische Auswirkungen auf Labortiere.

6. Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung

Unter Verwendung von PubMed und der EMF-Portal-Datenbank und unter Anwendung der Scoping-Review-Methode auf unsere Forschung fanden wir 950 Arbeiten über die Karzinogenität von HF-EMF beim Menschen und 911 Arbeiten über experimentelle Nagerstudien, insgesamt 1.861 Studien. In Bezug auf Reproduktions-/Entwicklungsstudien fanden wir 2.834 Arbeiten zur Epidemiologie und 5.052 Studien zu experimentellen Nagetierstudien, insgesamt 7.886 Studien. Aus der vorliegenden Literaturübersicht und den oben dargelegten Überlegungen kommen wir zu den folgenden Schlussfolgerungen:

6.1 Krebs beim Menschen

- **FR1** (450 bis 6.000 MHz): Es gibt begrenzte Nachweise auf die Karzinogenität von HF-Strahlung beim Menschen. Bei der Aktualisierung der Ergebnisse der Gesamtbewertung von 2011 bis 2020 wurden erneut positive Assoziationen zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung von schnurlosen Telefonen und Gliomen (Hirntumoren) sowie Akustikusneurinomen beobachtet, aber die Beweise beim Menschen sind immer noch begrenzt.
- **FR2** (24 bis 100 GHz): Es wurden keine angemessenen Studien über die Auswirkungen der höheren Frequenzen durchgeführt.

6.2 Krebs bei Versuchstieren

- **FR1** (450 bis 6.000 MHz): Es gibt ausreichende Nachweise für die Karzinogenität von HF-Strahlung bei Versuchstieren. Neue Studien nach der 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.

6.3 Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung beim Menschen

- **FR1** (450 bis 6.000 MHz): Es gibt ausreichende Nachweise auf schädliche Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit von Männern. Es gibt begrenzte Nachweise auf schädliche Wirkungen auf die Fruchtbarkeit von Frauen. Es gibt begrenzte Nachweise auf Auswirkungen auf die Entwicklung der Kinder von Müttern, die während der Schwangerschaft intensiv Mobiltelefone benutzt haben.
- **FR2** (24 bis 100 GHz): Für die höheren Frequenzen wurden keine angemessenen Studien durchgeführt.

6.4 Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung bei Versuchstieren

- **FR1** (450 bis 6000 MHz): Es gibt ausreichende Nachweise auf schädliche Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit männlicher Ratten und Mäuse. Es gibt begrenzte Nachweise auf schädliche Wirkungen auf die Fruchtbarkeit weiblicher Mäuse. Es gibt begrenzte Nachweise auf schädliche Wirkungen auf die Entwicklung der Nachkommen von Ratten und Mäusen, die während der Embryonalzeit exponiert wurden.
- **FR2** (24 bis 100 GHz): Für die höheren Frequenzen wurden keine angemessenen Studien über nichtthermische Wirkungen durchgeführt.

7. Allgemeine Bewertung

7.1 Krebs

- **FR1** (450 bis 6.000 MHz): Diese FR1-Frequenzen sind wahrscheinlich krebserregend für den Menschen.
- **FR2** (24 bis 100 GHz): Für die höheren Frequenzen wurden keine angemessenen Studien durchgeführt.

7.2 Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung

- **FR1** (450 bis 6.000 MHz): Diese Frequenzen beeinträchtigen eindeutig die männliche Fruchtbarkeit. Sie beeinträchtigen möglicherweise die weibliche Fruchtbarkeit. Sie haben möglicherweise nachteilige Auswirkungen auf die Entwicklung von Embryonen, Föten und Neugeborenen.
- **FR2** (24 bis 100 GHz): Es wurden keine angemessenen Studien über nicht-thermische Wirkungen der höheren Frequenzen durchgeführt.

8. Politische Optionen

8.1 Entscheidung für neue Technologien für Mobiltelefone, die eine Verringerung der HF-EMF-Exposition ermöglichen

Die Quellen von HF-Emissionen, die derzeit die größte Gefahr darzustellen scheinen, sind Mobiltelefone. Obwohl Sendeanlagen (Funkmasten) von manchen Menschen als das größte Risiko angesehen werden, geht die größte Expositionsbelastung für den Menschen im Allgemeinen von seinen eigenen Mobiltelefonen aus, und epidemiologische Studien haben eine statistisch signifikante Zunahme von Hirntumoren und Schwann-Zelltumoren der peripheren Nerven beobachtet, vor allem bei starken Mobiltelefonbenutzern.

Daher müssen Maßnahmen ergriffen werden, um sicherzustellen, dass immer sicherere Telefongeräte hergestellt werden, die wenig Energie abgeben und möglichst nur in einem bestimmten Abstand zum Körper funktionieren. Die kabelgebundene Hörmuschel löst einen Großteil des Problems, ist aber unbequem und schreckt daher die Nutzer ab; andererseits ist es nicht immer möglich, die Freisprechfunktion zu nutzen. Die Option, die HF-EMF-Exposition im Zusammenhang mit Telefonen so weit wie möglich zu verringern, gilt unabhängig von den verwendeten Frequenzen, von 1G bis 5G. Länder wie die USA und Kanada, in denen strengere SAR-Grenzwerte für Mobiltelefone gelten als in Europa, waren dennoch in der Lage, effiziente 1G-, 2G-, 3G- und 4G-Kommunikation aufzubauen (Madjar, 2016). Da 5G energieeffizienter sein soll als die bisherigen Technologien, wäre die Verabschiedung strengerer Grenzwerte in der EU für Mobilfunkgeräte sowohl ein nachhaltiger als auch ein vorsorgender 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 nutzt, um den Gesundheitszustand des Planeten ständig zu überwachen, einschließlich des Klimawandels, der Energiewende, der Agrarökologie und der Erhaltung der biologischen Vielfalt. Die Verwendung der niedrigen 5G-Frequenzen und die Annahme von vorsorglichen 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 Verabschiedung von Maßnahmen, die Anreize zur Verringerung der HF-EMF-Exposition schaffen

Ein Großteil der bemerkenswerten Leistung der neuen drahtlosen 5G-Technologie der niedrigeren Frequenzen kann auch durch die Verwendung von Glasfaserkabeln und durch die Umsetzung technischer Maßnahmen zur Verringerung der Exposition durch 1-4G-Systeme erreicht werden (Keiser, 2003; CommTech Talks, 2015; Zlatanov, 2017). Dies würde die Exposition überall dort minimieren, wo Verbindungen an festen Standorten erforderlich sind. So könnten zum Beispiel Glasfaserkabel für die Verbindung von Schulen, Bibliotheken, Arbeitsplätzen, Häusern, öffentlichen Gebäuden und allen neuen Gebäuden usw. verwendet werden, und öffentliche Versammlungsorte könnten "HF-EMF-freie" Bereiche sein (ähnlich wie Nichtraucherzonen), um die passive Exposition von Personen zu vermeiden, die kein Mobiltelefon oder eine Langstreckenübertragungstechnologie verwenden, und so viele gefährdete ältere oder immungeschwächte Menschen, Kinder und elektrosensible Personen zu schützen.

8.4 Förderung multidisziplinärer wissenschaftlicher Forschung, um die langfristigen gesundheitlichen Auswirkungen von 5G zu bewerten und eine geeignete Methode zur Überwachung der Exposition gegenüber 5G zu finden.

In der Literatur finden sich keine angemessenen Studien, die das Risiko von Tumoren und negativen Auswirkungen auf die Fortpflanzung und Entwicklung bei einer Exposition gegenüber 5G-MMW ausschließen oder 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 Wissenslücken rechtfertigen die Forderung nach einem Moratorium für 5G-MMW, bis die entsprechenden Forschungsarbeiten abgeschlossen sind.

Angesichts dieser Ungewissheiten besteht eine politische Option darin, die multidisziplinäre Teamforschung zu verschiedenen Faktoren der Expositionsabschätzung 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 wird erst mit dem endgültigen 5G-Protokoll eingeführt, d. h. erst in drei bis fünf Jahren. Angesichts dieses Zeitrahmens besteht eine Möglichkeit darin, die Auswirkungen zu untersuchen, bevor die gesamte Weltbevölkerung und die Umwelt exponiert werden.

Die Einführung der MMW-5G-Technologie ohne weitere Präventivstudien würde bedeuten, dass ein "Experiment" an der menschlichen Bevölkerung durchgeführt wird, dessen Folgen völlig ungewiss sind. Um uns auf Europa zu beschränken, könnte dies in einem Bereich wie der Chemie geschehen, der derzeit durch REACH (EG, 1907/2006) geregelt wird.

REACH zielt darauf ab, 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 von Chemikalien. Darüber hinaus zielt sie darauf ab, die Innovation und Wettbewerbsfähigkeit der chemischen Industrie in der EU zu verbessern. EU REACH basiert auf dem Prinzip "keine Daten, kein Markt" und nimmt die Industrie in die Pflicht, Sicherheitsinformationen über Stoffe zu liefern.

Hersteller und Importeure sind verpflichtet, Informationen über die Eigenschaften ihrer chemischen Stoffe zu sammeln, die einen sicheren Umgang mit ihnen ermöglichen, und diese Informationen in einer zentralen Datenbank bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) zu registrieren. Eine politische Option könnte darin bestehen, den gleichen Ansatz auf alle Arten von technologischen Innovationen anzuwenden.

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

8.5 Förderung von Informationskampagnen über 5G

Es gibt einen Mangel an Informationen über die möglichen Schäden von HF-EMF. Das Informationsdefizit schafft Raum für Leugner und Panikmacher und führt in vielen 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 Gesundheitsrisiken, 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 den richtigen Gebrauch von Mobiltelefonen informiert werden. Nur mit fundierten und genauen Informationen können wir das Vertrauen der Bürgerinnen und Bürger zurückgewinnen und eine gemeinsame Einigung über eine technologische Entscheidung erzielen, die, wenn sie richtig gehandhabt wird, große soziale und wirtschaftliche Vorteile bringen kann.

Inhaltsübersicht

Zusammenfassung	II
1. Einleitung	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Das Expositionsszenarium	1
1.2.1 Gegenwärtiges Expositionsszenarium	1
1.2.2 Das 5G-Szenario der Exposition	2
1.2.3 5G: Beamforming und MIMO	3
1.3 Überblick über die politischen Maßnahmen international und in Europa	7
1.3.1 Internationale Organisationen	7
1.3.2 Europäische Organisationen und Regierungen (nach Jahr)	7
1.4 Andere biologische Auswirkungen als die in dieser Übersicht analysierten (sowohl FR1 als auch FR2)	10
1.5 Soziale Konflikte im Zusammenhang mit 5G	12
2. Zielsetzung der Studie und Methodik	12
2.1 Grundprinzipien	12
2.1.1 Krebserkrankungen	12
2.1.2 Fortpflanzung/Entwicklung	14
2.2 Suchstrategie	15
2.3 Auswahl der relevanten Literatur	16
2.4 Screening-Verfahren	16
2.5 Extraktion von Informationen aus der relevanten Literatur	17
2.6 Evidenzsynthese	17
2.7 Gesamtbewertung der vorliegenden Übersichtsarbeit	17
3. Beschränkungen der vorliegenden Übersichtsarbeit	21
3.1 Bewertung der einzelnen Studien	21
3.2 Bewertung der Exposition	21
3.3 Die Grenzen einer systematischen Übersichtsarbeit über die 5G-Frequenzen	22
3.4 Gesamtbewertung	22
4. Bewertung der einzelnen Studien	23
4.1 Karzinogenität nach Frequenzbereich	23
4.1.1 Krebs in epidemiologischen Studien: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6000 MHz), der auch die in den zellularen Breitbandnetzen der vorherigen Generationen (1G-4G) verwendeten Frequenzen umfasst	23
4.1.2 Krebs in epidemiologischen Studien: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW).	53

4.1.3 Krebs bei Versuchstieren: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6000 MHz), der auch die in den zellularen Breitbandnetzen der vorherigen Generationen (1G, 2G, 3G und 4G) verwendeten Frequenzen umfasst.	59
4.1.4 Krebs bei Versuchstieren: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW).	71
4.2 Schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung nach Frequenzbereich	73
4.2.1 Reproduktions-/Entwicklungsbeeinträchtigungen in epidemiologischen Studien: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6000 MHz), der auch die in den zellularen Breitbandnetzen der vorherigen Generationen (1G, 2G, 3G und 4G) verwendeten Frequenzen umfasst.	73
4.2.2 Reproduktions-/Entwicklungseffekte in epidemiologischen Studien: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW).	105
4.2.3 Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung bei Versuchstieren: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6000 MHz), der auch die Frequenzen umfasst, die in den zellularen Breitbandnetzen der vorherigen Generationen (1G, 2G, 3G und 4G) verwendet wurden.	111
4.2.4 Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung bei Versuchstieren: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW).	139
5. Diskussion	141
5.1 Krebs und niedrigere Telekommunikationsfrequenzen (FR1: 450 bis 6000 MHz)	142
5.1.1 RF-EMF (FR 1: 450 bis 6000 MHz) und Krebs beim Menschen	142
5.1.2 RF-EMF (FR1: 450 bis 6000 MHz) und Krebs bei Versuchstieren	145
5.2 Krebs und höhere Telekommunikationsfrequenzen (FR2: 24 bis 100 GHz)	146
5.2.1 RF-EMF (FR2: 24 bis 100 GHz) und Krebs beim Menschen	146
5.2.2 RF-EMF (FR2: 24 bis 100 GHz) und Krebs bei Versuchstieren	147
5.3 Schädliche Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung und niedrigere Telekommunikationsfrequenzen (FR1: 450 bis 6000 MHz)	147
5.3.1 RF-EMF (450 bis 6000 MHz) u. schädli. Wirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung beim Menschen	147
5.3.2 HF-EMF (450 bis 6000 MHz) und schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung bei Versuchstieren.	148
5.4 Nachteilige Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung und höhere Telekommunikationsfrequenzen (FR2: 24 bis 100 GHz)	149
5.4.1 Nachteilige Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung beim Menschen (FR2: 24 bis 100 GHz)	149
5.4.2 Nachteilige Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung in Tierversuchen (FR2: 24 bis 100 GHz)	149
6. Schlussfolgerungen	150
6.1 Telekommunikationsfrequenzen FR1 450 MHz - 6000 MHz	150
6.1.1 Krebs beim Menschen	150
6.1.2 Krebs bei Versuchstieren	150
6.1.3 Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung beim Menschen	150
6.1.4 Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung bei Versuchstieren	150

6.2 Telekommunikationsfrequenzen FR2: 24 bis 100 GHz _____	150
6.2.1 Krebs beim Menschen _____	150
6.2.2 Krebs bei Versuchstieren _____	150
6.2.3 Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung beim Menschen _____	150
6.2.4 Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung bei Versuchstieren _____	150
6.3 Gesamtbewertung _____	150
6.3.1 Krebserkrankungen _____	150
6.3.2 Auswirkungen auf die Entwicklung und Fortpflanzung _____	150
7. Politische Optionen _____	151
7.1 Entscheidung für neue Technologien für Mobiltelefone, die eine Verringerung der HF-Exposition ermöglichen _____	152
7.2 Überarbeitung der Expositionsgrenzwerte für die Öffentlichkeit und die Umwelt, um die HF-Exposition durch Mobilfunkmasten zu verringern _____	152
7.3 Verabschiedung von Maßnahmen, die Anreize zur Reduzierung der HF-EMF-Exposition schaffen _____	152
7.4 Förderung multidisziplinärer wissenschaftlicher Forschung, um die langfristigen gesundheitlichen Auswir- kungen von 5G zu bewerten und eine geeignete Methode zur Überwachung der Exposition gegenüber 5G zu finden _____	153
7.5 Förderung von Informationskampagnen über 5G _____	153
8. Referenzen _____	154
8.1 Allgemeine Referenzen _____	155
8.2 Referenzen für den Bericht über Krebs beim Menschen _____	155
8.3 Referenzen für die Überprüfung von Krebs bei Versuchstieren _____	161
8.4 Referenzen für die Überprüfung der Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung beim Menschen _____	169
8.5 Referenzen für die Überprüfung der Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung bei Versuchstieren _____	171
	173

Liste der Abbildungen

Figure 1 – History of mobile technology _____	2
Figure 2 – 3G vs 4G vs 5G _____	2
Figure 3 – 5G needs different frequency bands _____	4
Figure 4 – 5G spectrum status by dashboard and auctions in Europe _____	5
Figure 5 – 5G spectrum status by auctions in Europe (FR1: 700 MHz) _____	5
Figure 6 – 5G spectrum status by auctions in Europe (FR1: 3.4 -3.8 GHz) _____	5
Figure 7 – IARC criteria for overall classifications (the evidence in bold italic represents the basis of the overall evaluation) (Source: IARC Preamble, 2019) _____	19
Figure 8 – Criteria for overall evaluation in the present review (FR1 and FR2) _____	20
Figure 9 – Flow diagram. Epidemiological studies on cancer (FR1) _____	24
Figure 10 – Flow diagram. Epidemiological studies on cancer for FR2 _____	54
Figure 11 – Flow diagram. Cancer in experimental animal studies FR1 _____	60
Figure 12 – Flow diagram. Cancer in experimental animal studies FR2 _____	72
Figure 13 – Flow diagram. Epidemiological studies on reproductive/developmental effects FR1 _____	74
Figure 14 – Flow diagram. Epidemiological studies on reproductive/developmental effects FR2 _____	106
Figure 15 – Flow diagram. Reproductive/developmental effects in experimental animals FR1 _____	112
Figure 16 – Flow diagram. Reproductive/developmental effects in experimental animals (FR2) _____	140
Figure 17 – The Swedish National Inpatients Registry (source: Hardell and Carlberg, 2017): men _____	143
Figure 18 – The Swedish Nnl. Inpatients Registry (source: Hardell and Carlberg, 2017): women _____	144
Figure 19 – Trends in the incidence of of all malignant brain tumours in England _____	145

Liste der Tabellen

Table 1 – Cancer in epidemiological case-control studies (450-6000 MHz) (a) _____	35
Table 2 – Cancer in epidemiological ecological case-control studies (450-6000 MHz) (a) _____	46
Table 3 – Cancer in epidemiological cohort studies (450-6000 MHz) (a) _____	47
Table 4 (summary 1-3) – Collected data on cancer in epidemiological studies (450-6000 MHz) _____	51
Table 5 – Range of frequencies used by radar communication. _____	55
Table 6 – Cancer in epidemiological case-control studies (24 to 100 GHz, MMW) (a) _____	56
Table 7 (Summary 6 a, b) – Summary table for epidemiological studies on Cancer, FR2: 24-100 GHz _____	58
Table 8 – Cancer in experimental animals: two years cancer bioassays in mice (450-6000 MHz) (a) _____	66
Table 9 – Cancer in experimental animals: two years cancer bioassays in rats (450-6000 MHz) (a) _____	67
Table 10a - Cancer in experimental animals: tumour-prone mice (450-6000 MHz) (a) _____	68
Table 10b - Cancer in experimental animals: promotion studies in mice (450-6000 MHz) (a) _____	68
Table 11 (summary tables 8-10) - Collected data for experimental studies on Cancer (FR1: 450-6000 MHz) ____	69
Table 12 - Reproductive/developmental effects in humans: man fertility, epidemiologic case-control studies (450-6000 MHz) (a) _____	87
Table 13 - Reproductive/developmental effects in humans: man fertility, epidemiologic cross sectional -studies (450-6000 MHz) (occupational) (a) _____	88
Table 14 - Reproductive/developmental effects in humans: man fertility epidemiologic cohort studies (450-6000 MHz) (a) _____	93
Table 15 - Reproductive/developmental effects in humans: developmental effects, epidemiologic case-control studies (450-6000 MHz) (a) _____	95
Table 17 - Reproductive/developmental effects in humans: developmental effects, epidemiologic cohort studies (450-6000 MHz) (a) _____	98
Table 18 (summary tables 12-17) - Collected data for epidemiological studies on reproductive / developmental effects (FR1: 450-6000 MHz) _____	104
Table 19 - Reproductive/developmental effects in humans: man fertility, epidemiologic case-control studies (24-100 GHz)(a) _____	108
Table 20 (summary tables 19 a,b) – Collected data for epidemiological studies on reproductive / developmental effects (FR2: 24-100 GHz)._____	110
Table 21 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: reproductive toxicity in male mice (450-6000 MHz) (a) _____	128
Table 22 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: reproductive toxicity in female mice (450-6000 MHz) (a) _____	129
Table 23 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: reproductive toxicity in male rats (450-6000 MHz) (a) _____	130
Table 24 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: : developmental toxicity in hamster in male rats (450-6000 MHz) (a) _____	132

Table 25 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: developmental toxicity in mice (450-6000 MHz) (a) _____	133
Table 26 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: developmental toxicity in rats (450-6000 MHz) (a) _____	136
Table 27 (summary tables 21-26) (a, b) – Collected data for experimental studies on reproductive/developmental effects (FR1: 450-6000 MHz) _____	137

Liste der Abkürzungen

1G , 2G, 3G, 4G, 5G	First-fifth generation of telecommunication
2-ME	2-methoxyethanol
3 β HSD	3 β -Hydroxysteroid dehydrogenase
17 β HSD	17 β -Hydroxysteroid dehydrogenases
3GPP	3rd Generation Partnership Project
ABCD	Amsterdam-born children and their development study
AKR/J	mouse strain
ANSES	French Agency for Food, Environmental and Occupational Health and Safety
AOR	covariate-adjusted odds ratio
APD	annual power density
AR	acrosome reaction
ASP	annual summarised power
AUDIPOG	assessment of neonatal growth (score expressed as a percentile)
B6C3F1/N	mouse strain
BALB/c	mouse strain
BAX	Bcl-2-associated X
BCL-2	B-cell lymphoma 2
BCL-XL	B-cell lymphoma-extra large
BLL	blood lead level
BMI	body mass index
BS	base stations
C3H/HeA	transgenic mouse
C57BL/6	mouse strain
CANULI	From the danish 'cancer og social ulighed' (cancer and social inequality), cohort study
CAT	catalase
CEFALO	multicentre case-control study
CERENAT multic	multicentre case-control study
CDF	cumulative distribution function
CDMA	code division multiple access
CGRP	calcitonin gene-related peptide
CI	confidence interval
CNS	central nervous system
CRP	C-reactive protein
CW	continuous wave
DECT	digital enhanced cordless telecommunications

DFI DNA	fragmentation index
DNA	deoxyribonucleic acid
DNBC	Danish national birth cohort
ECHA	European Chemicals Agency
EARTH	Environment and Reproductive Health Study
EMF	electromagnetic field
ENU	N-ethyl-N-nitrosourea
EPM	elevated-plus maze
EPRS	European Parliamentary Research Service
Er α	estrogen receptor alpha
Er β	estrogen receptor beta
EU	European Union
E μ -Pim1	transgenic mouse
F	female
FCC	Federal Communications Commission
FOEN	Federal Office for the Environment
FOMA	freedom of mobile multimedia access
FR1	lower frequency band (450 MHz- 6 GHz)
FR2	higher frequency band (24 - 100 GHz)
FST	forced swimming test
GA	gallic acid
GADD45	growth arrest and DNA damage 45
GBD	global burden of diseases, injuries and risk factors
GD	gestational day
GERoNiMO	generalised EMF research using novel methods
GFAP	glia fibrillary acidic protein
GHz	giga hertz
GIS	geographical information systems
GSH	glutathione
GSH-Px	glutathione peroxidase
GSM	global systems for mobile communications
GR	γ -radiation
H ₂ O ₂	hydrogen peroxide
HSP70 (or 25, or 32): 70 (or 25, or 32)	kilodalton heat shock proteins
IARC	International Agency for Research on Cancer
IATPF	International Academy of Toxicologic Pathology Fellow
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

ICR	mouse strain
ICT	information and communications technology
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEMFA I	International EMF Alliance
IL-6 (or 10, or 32)	interleukine-6 (or 10, or32)
ILO	International Labour Organization
INMA	Spanish Environment and Childhood Project
INTERPHONE	a set of international case-control studies
INTEROCC	international case-control study
IoT	internet of things
ISTISAN	Italian National Institute of Health (Istituto Superiore di Sanità) report
IRR	incidence rate ratio
ITA	Austrian Institute fur Technickfolken
IT'IS	Foundation for Research on Information Technologies in Society
JECS	Japan Environment and Children Study
kHz	kilohertz
LH	luteinising hormone
LTE	long-term evolution
M	male
MARHCS	Male Reproductive Health in Chongqing College students cohort study
MDA	malondialdehyde
MDI	mental development index
MEL	melatonin
MHz	megahertz
MIMO	multiple-input and multiple-output antennas
MMP2 (or 14)	matrix metalloproteinase 2 (or 14)
MMW(s)	millimeter wave(s)
MoBa	prospective population-based pregnancy cohort study
MOCEH	Korean Mothers and Children's Environmental Health Study
MOE	moringa extract
MPBS	mobile phone base stations
MW	millimeter waves
MWM	Morris water maze
NéHaVi	cohort study
NIR	non-ionising radiation
NMRI	mouse strain

NO	nitric oxide
NOS	nitric oxide synthase
NTP	national toxicology programme
NTP TR	national toxicology programme technical report
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OFT	open field test
OR	odd ratio
OSI	oxidative stress index
PARP	poly (ADP-ribose) polymerase
P21	cyclin-dependent kinase inhibitor 1
P450scc	cholesterol side-chain cleavage enzyme
P53	tumour protein P53
PCNA	proliferating cell nuclear antigen
PD	power density
PDI	psychomotor development index
PECO	population, exposure, comparator and outcome
PEM	personal exposure meter
PGE2	prostaglandin E2
PND	postnatal day
PRISMA-ScR	preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses extension for scoping reviews
REACH	registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals
RF	radiofrequency
RFR	radiofrequency radiation
RF-EMF	radiofrequency electromagnetic field
RL	reference level
ROS	reactive oxygen species
RR	relative risk
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
SAR	specific absorption rate
SCENIHR	European Commission Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks
SCHEER	Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks
SDQ	strengths and difficulties questionnaire
SEM	source-exposure matrix
SF1	splicing factor 1
SOD	superoxide dismutase
SPOCK3 PARC	(osteonectin), cwcv and kazal-like domains proteoglycan 3

SSM	Swedish Radiation Safety Authority
SR	scoping review
StAR	steroidogenic acute regulatory protein
STOA	European Parliament's Panel for the Future of Science and Technology
TAC	total antioxidant capacity
TETRA	terrestrial trunked radio
TSC	total sperm count
TST	tail suspension test
UE	user equipment
UHF	ultra-high frequencies
UMTS	universal mobile telecommunications system
UK	United Kingdom
V/m	volt/meter
VEGF	vascular endothelial growth factor
W/kg	watt/kilogram
WHO	World Health Organization

1. Einleitung

1.1 Hintergrund

In den letzten Jahrzehnten hat sich eine beispiellose Entwicklung von Technologien vollzogen, die als Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) bekannt sind. Dazu gehören die drahtlose Kommunikation, die für Mobiltelefone verwendet wird, und z. B. Wi-Fi, das elektromagnetische Felder (EMF) nutzt. Die erste Generation von Handheld-Mobiltelefonen war Ende der 1980er Jahre verfügbar. In der Folgezeit haben die zweite (2G), dritte (3G) und vierte (4G, Long-Term Evolution = LTE) Generation ihre Durchdringungsrate in der Gesellschaft drastisch erhöht, so dass es heute in Europa mehr Geräte als Einwohner gibt. Darüber hinaus sind Wi-Fi und andere Formen der drahtlosen Datenübertragung inzwischen allgegenwärtig und weltweit verfügbar. Gegenwärtig beginnen wir mit der Einführung der nächsten HF-Generation, 5G, in den Mobilfunknetzen. 5G ist keine neue Technologie, sondern eine Weiterentwicklung der bereits bestehenden Technologien G1 bis G4.

1.2 Das Expositionsszenarium

1.2.1 Gegenwärtiges Expositionsszenarium

Die verschiedenen Expositionssituationen, die bei der intensiven Nutzung der Telekommunikation 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 Untersuchung relevanten Frequenzen.

Die entsprechenden Wellenlängen (der Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Spitzen von HF-Wellen) liegen zwischen 10 km und 1 mm. Die von HF-Quellen erzeugten EMF verbinden sich mit dem menschlichen Körper, was zu induzierten elektrischen und magnetischen Feldern und damit verbundenen Strömen im Körpergewebe führt (IARC, 2013). Die Exposition des Menschen gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) kann durch die Nutzung persönlicher Geräte (z. B. Mobiltelefone, Schnurlostelefone, 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 erfolgen.

Bei Arbeitnehmern stammt die meiste Exposition gegenüber HF-EMF aus Nahfeldquellen, während die allgemeine Bevölkerung die höchste Exposition durch Sender in Körpernähe erfährt, z. B. durch tragbare Geräte wie Mobiltelefone. Die Exposition gegenüber Hochleistungsstrahlern am Arbeitsplatz kann zu einer höheren kumulativen HF-Energie führen, die im Körper deponiert wird, als die Exposition gegenüber Mobiltelefonen, aber die lokale Energie, die im Gehirn deponiert wird, ist im Allgemeinen geringer.

Die typische Exposition des Gehirns durch Mobilfunk-Basisstationen auf Dächern oder Türmen sowie durch Fernseh- und Radiosender ist um mehrere Größenordnungen geringer als die Exposition durch Mobiltelefone des globalen Mobilfunksystems (GSM). 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. Auch die durchschnittliche Ausgangsleistung von Bluetooth-Freisprecheinrichtungen ist schätzungsweise 100-mal geringer als die von Mobiltelefonen.

Die von HF-Quellen erzeugten EMF verbinden sich mit dem Körper, was zu induzierten elektrischen und magnetischen Feldern und damit verbundenen Strömen im Gewebe führt. Die wichtigsten Faktoren, die solche 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, wie z. B. einer Sendeantenne, oder das Ergebnis der Streustrahlung eines Objekts. In der Nähe der Antenne oder des streuenden Objekts (Mobiltelefon) dominiert das nicht-strahlungsbedingte Nahfeldverhalten, während in größerer Entfernung das Fernfeldverhalten der elektromagnetischen Strahlung dominiert (BC Center for Disease Control, 2013).

Darüber hinaus hängt die Effizienz der Kopplung und die daraus resultierende Feldverteilung innerhalb des Körpers

stark von der Frequenz, der Polarisation und der Richtung des Welleneinfalls auf den Körper sowie von den anatomischen Merkmalen der exponierten Person, einschließlich Körpergröße, Body-Mass-Index, Körperhaltung und dielektrische Eigenschaften des Gewebes. Die im Körper induzierten Felder sind sehr ungleichmäßig, variieren über mehrere Größenordnungen und weisen lokale Hotspots auf. Hält man ein Mobiltelefon an das Ohr, um einen Anruf zu tätigen, kann dies zu hohen spezifischen HF-Energieabsorptionsraten (Specific Absorption Rate = SAR) im Gehirn führen, die von der Konstruktion und der 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 abhängen. Bei Kindern ist die durchschnittliche Ablagerung von HF-Energie im Gehirn doppelt so hoch und im Knochenmark des Schädels bis zu zehnmal höher als bei Erwachsenen, die Mobiltelefone benutzen. Die Verwendung von Freisprechanlagen senkt die Exposition des Gehirns auf weniger als 10 % der Exposition bei der Verwendung am Ohr, kann aber die Exposition anderer Körperteile erhöhen (IARC, 2013).

1.2.2 Das 5G-Szenario der Exposition

Figure 1 – History of mobile technology



Mit der bevorstehenden Einführung von 5G-Mobilfunknetzen werden deutlich schnellere mobile Breitbandgeschwindigkeiten und eine immer umfangreichere mobile Datennutzung gewährleistet. Zu den technischen Neuerungen gehören ein anderes Übertragungssystem (MIMO: Multiple-Input- und Multiple-Output-Antennen), die gerichtete Signalübertragung bzw. der gerichtete Signalempfang (Beamforming) und die Nutzung anderer Frequenzbereiche. Ermöglicht wird dies durch die Nutzung zusätzlicher höherer Frequenzbänder (Millimeterwellen = MMW). 5G soll der Schnittpunkt 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 eine Veränderung der EMF-Exposition von Mensch und Umwelt erwartet (Abbildungen 1 und 2).

Figure 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 mehreren verschiedenen Frequenzbändern arbeiten, von denen die niedrigeren Frequenzen für die erste Phase der 5G-Netze vorgeschlagen werden. Mehrere dieser Frequenzen (vor allem unter 1 GHz - Ultra-hochfrequenz (UHF)) wurden oder werden bereits für frühere Mobilfunkgenerationen verwendet. Darüber hinaus ist geplant, in späteren Phasen der Entwicklung der Technologie auch wesentlich höhere HF-Frequenzen zu verwenden.

Die Betriebsfrequenzen der niedrigen und mittleren Bänder können sich mit dem derzeitigen 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 für das 5G-Hochfrequenzband, 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 erhebliche Herausforderung für die Bewertung der Gesundheitsrisiken dar (Lin, 2020). Die letztgenannten Bänder wurden traditionell für Radar- und Mikrowellenverbindungen genutzt (Simkò und Mattson, 2019), und nur sehr wenige wurden auf ihre Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit untersucht.

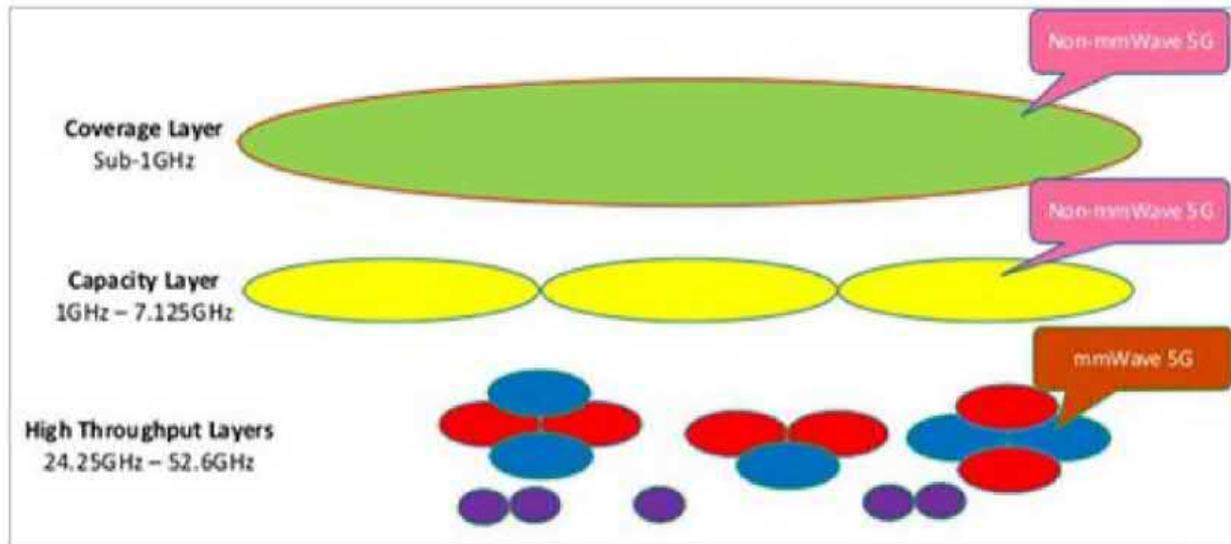
1.2.3 5G: Beamforming und MIMO

Die jüngste Zunahme des Mobilfunkverkehrs über das Mikrowellenfrequenzband hat die Aufmerksamkeit auf das breite MMW-Spektrum gelenkt, das bisher nicht ausreichend genutzt wurde. Bis zur 4G-Technologie wurden für den Mobilfunk Frequenzen unter 3 GHz verwendet, und die Vorstellung, dass höhere Frequenzen (über 3 GHz) durch physikalische Hindernisse stärker gedämpft werden, ließ die niedrigeren Frequenzen als zuverlässiger erscheinen. Durch intelligentes Beamforming wird jedoch die Abdeckung verbessert und die Störungen auf ein Minimum reduziert. Die Technik der dynamischen Funkmasten, die Beamforming einsetzen, bildet zusammen mit Multi-User-MIMO (MU-MIMO) die Grundlage von 5G NR (New Radio); zusammen ermöglichen sie die Unterstützung von mehr als 1 000 Geräten pro Quadratmeter im Vergleich zu 4G, wodurch viel mehr Nutzer ultraschnelle Daten mit hoher Präzision und geringer Latenz erhalten.

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

"Es gibt erhebliche Bedenken hinsichtlich der möglichen Auswirkungen auf die Gesundheit und Sicherheit, die sich aus der potenziell viel höheren Exposition gegenüber hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung durch 5G ergeben. Eine erhöhte Exposition kann sich nicht nur aus der Verwendung viel höherer Frequenzen in 5G ergeben, sondern auch aus dem Potenzial für die Aggregation verschiedener Signale, ihrer dynamischen Natur und den komplexen Störeffekten, die sich daraus ergeben können, insbesondere in dichten städtischen Gebieten. Die 5G-Funkfelder unterscheiden sich von denen früherer Generationen aufgrund ihrer komplexen strahlenförmigen Übertragungen in beide Richtungen - von der Basisstation zum Endgerät und zurück. Obwohl die Felder durch Strahlen stark gebündelt sind, variieren sie schnell mit der Zeit und der Bewegung und sind daher unvorhersehbar, da die Signalpegel und -muster als geschlossenes System interagieren. Dies muss für reale Situationen außerhalb des Labors noch zuverlässig abgebildet werden" (Blackman und Forge, 2019).

Figure 3: 5G needs different frequency



Source: Qualcomm, 2020

5G wird eine breite Palette von Funkspektren nutzen (Abb. 4). Sie lassen sich je nach den Bedürfnissen der Nutzer in drei verschiedene Ebenen unterteilen:

- Die "Abdeckungsebene" mit Frequenzen unter 1 GHz bietet eine breite Abdeckung im Freien und eine tiefe Abdeckung in Gebäuden. Sie besteht im Wesentlichen aus einem Frequenzband, das vom digitalen Fernsehen genutzt wird und Hindernisse gut durchdringt. Dieses System verwendet kein Beamforming und ähnelt in der Verwaltung den Funk-Basisstationen (RBS) der 4G-Technologie, wobei möglicherweise ein Korrekturfaktor (Koeffizient zur Verringerung der Spitzenleistung) angewendet wird, der die vom Sendesystem verwendete mittlere Leistung berücksichtigt;
- Die "Abdeckungs- und Kapazitätsschicht" zwischen 1 GHz und 6 GHz ist eine der wichtigsten Neuerungen von 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. Es umfasst das Spektrum des Bandes C um 3,5 GHz. Dieses Nicht-Millimeter-Frequenzband arbeitet im Beamforming-Modus, um den größten Teil der abgestrahlten Leistung auf das Zielendgerät zu konzentrieren;
- Die "Superdatenschicht" 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 (ITU-R) des IMT-2020-Standards (International Mobile Telecommunications) erforderlich sind. In diesem Frequenzband wird auch das Beamforming-Verfahren eingesetzt.

Die weltweit wichtigsten Frequenzbänder für 5G-Standards, die in der globalen 5G-Technologie genutzt werden, werden 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 nicht in der Lage sind, Gebäude zu durchdringen oder Hindernisse zu überwinden. Um diese Schwierigkeit zu "lösen", müssen viele kleine Zellen mit einer Distanzverteilung von etwa 10 Metern (in Gebäuden) bis zu mehreren hundert Metern (im Freien) installiert werden, die eine wesentlich geringere Reichweite haben als die Makrozellen der früheren Technologien, die sich über mehrere Kilometer erstrecken können. In Europa könnte das allgemeine Bild wie in den Abbildungen 4, 5 und 6 zusammengefasst dargestellt werden (Quelle: Qualcomm, 2020).

Figure 4 - 5G spectrum by dashboard and auctions in Europe



Figure 5 – 5G spectrum status by auctions in Europe (FR1: 700 MHz)



Figure 6 – 5G spectrum status by auctions in Europe (FR1: 3.4 -3.8 GHz)



Nasim und Kim (2017) simulieren das mögliche Szenario der HF-Exposition nach der Einführung von 5G unter Verwendung der Beamforming-Technologie. Die Autoren sind der Ansicht, dass bei MMW-Frequenzen, bei denen künftige mobile Telekommunikationssysteme höchstwahrscheinlich betrieben werden, zwei wahrscheinliche Veränderungen die Besorgnis über die Exposition menschlicher Nutzer gegenüber HF-Feldern erhöhen könnten. Erstens wird eine größere Anzahl von Sendern betrieben werden. Aufgrund der Verbreitung von Kleinzellen (Rappaport et al., 2013; Agiwal, 2016; Al-Saadeh, 2017) werden mehr Basisstationen (BS) und dementsprechend mehr Mobilgeräte eingesetzt. Dies wird die Wahrscheinlichkeit der Exposition von Menschen gegenüber HF-Feldern erhöhen. Zweitens werden schmalere Beams als Lösung für die höhere Dämpfung in höheren Frequenzbändern verwendet (Shakib, 2016; Zhang et al., 2017; Akdeniz et al., 2014). Sehr kleine Wellenlängen von MMW-Signalen in Verbindung mit Fortschritten bei HF-Schaltungen ermöglichen eine sehr große Anzahl von miniaturisierten Antennen. Diese Mehrfachantennensysteme können zur Bildung sehr hoher Leistungsgewinne verwendet werden. Die Autoren erklären, dass ihre Arbeit durch die Tatsache motiviert ist, dass frühere Arbeiten sich nicht ausreichend mit einem solchen potenziellen Anstieg des Risikos befasst haben. In ihren Schlussfolgerungen führen die Autoren aus:

"Diese Arbeit hat die Bedeutung der menschlichen HF-Exposition im Downlink eines zellularen Kommunikationssystems hervorgehoben. In dieser Arbeit wurde das Expositionsniveau in Form von PD und SAR gemessen und mit den in Release 9 berechneten Werten verglichen, die für die aktuelle Mobilfunktechnologie repräsentativ sind. Im Gegensatz zu früheren Arbeiten, die nur Uplinks untersuchten, hat dieses Papier herausgefunden, dass auch die Downlinks eines 5G-Systems im Vergleich zu Release 9 [dem derzeitigen Expositionsszenario] deutlich höhere PD- und SAR-Werte aufweisen. Unsere Ergebnisse betonen, dass der Anstieg auf zwei technische Änderungen zurückzuführen ist, die bei 5G wahrscheinlich auftreten werden: (i) mehr Zugangspunkte (APs) aufgrund des Einsatzes kleinerer Zellen und (ii) höher konzentrierte HF-Energie pro Downlink-HF-Strahl aufgrund der Verwendung größerer Phased Arrays. Im Gegensatz zu früheren Arbeiten wird 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 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, der ein gefährliches Niveau von PD und SAR ergibt. Zu diesem Zweck nennt das Papier als zukünftige Arbeit die Entwicklung von Techniken, die die Exposition des Menschen gegenüber HF-Feldern in 5G-Downlinks reduzieren" (Imtiaz und Seungmo, 2017).

Es ist bemerkenswert, 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, das das gesamte Frequenzband unter statischen und stationären Bedingungen nutzt.

Ein weiteres Papier (Baracca et al., 2018) der Nokia-Gruppe, das massive MIMO-Basisstationen (BS) berücksichtigt, schlägt einen statistischen Ansatz zur Bewertung der HF-Expositionsbedingungen um massive MIMO-BS auf der Grundlage des vom Third Generation Partnership Project (3GPP) entwickelten räumlichen 3D-Kanalmodells vor und bewertet, wie sich die Leistung in einem praktischen System konzentriert, wenn realistische Annahmen bezüglich der Verteilung der Nutzergeräte (UE) und Verkehrsmodelle berücksichtigt werden. Die Methodik besteht in der Durchführung von Systemsimulationen, die realistische Einsatzszenarien in Bezug auf Installationshöhe, Benutzerausrüstung, Geräteverteilung und Verkehr berücksichtigen, um die kumulative Verteilungsfunktion (CDF) der tatsächlichen BS-Übertragungsleistung zu bewerten.

"Der vorgeschlagene statistische Ansatz trägt dazu bei, die von der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC, 2017) bereits definierten Berechnungsmethoden zu verbessern und den Einsatz von Massive-MIMO-BS für 5G- und darüber hinausgehende Mobilfunknetze zu unterstützen", betonen die Autoren abschließend: "Alle statistischen Ansätze, einschließlich unseres eigenen, basieren zwar auf realistischen Annahmen, erfordern aber dennoch ergänzende Techniken, zum Beispiel auf der Grundlage von Leistungskontrolle und Strahlformungsanpassung (Sambo et al., 2015), um sicherzustellen, dass die EMF-Beschränkungen in den BSs für alle möglichen tatsächlichen Konfigurationen eingehalten werden".

In Bezug auf die Expositionsabschätzung warnten Neufeld und Kuster (2018) in einem Artikel in Health Physics, dass die bestehenden Expositionsstandards mit kürzeren Mittelungszeiten überarbeitet werden sollten, um mögliche thermische Schäden durch kurze und starke Impulse zu berücksichtigen:

"Extreme drahtlose Breitbandgeräte, die oberhalb von 10 GHz betrieben werden, können Daten in Bursts von wenigen Millisekunden bis Sekunden übertragen. Auch wenn die zeit- und flächengemittelten Werte der Leistungsdichte innerhalb der akzeptablen Sicherheitsgrenzen für kontinuierliche Exposition bleiben, können diese Bursts zu kurzen Temperaturspitzen auf der Haut exponierter Personen führen. ... [Unsere] Ergebnisse zeigen auch, dass das von den ICNIRP-Richtlinien tolerierte Verhältnis von Spitzenwert zu Mittelwert von 1.000 zu dauerhaften Gewebeschäden selbst nach kurzen Expositionen führen kann, was die Bedeutung einer Überarbeitung der bestehenden Expositionsrichtlinien unterstreicht" (Neufeld und Kuster, 2018).

Kenneth Foster von der University of Pennsylvania entgegnete, dass diese Behauptungen nicht haltbar seien: "Da reale Kommunikationstechnologien Pulse mit viel geringerer Fluenz erzeugen als die von Neufeld und Kuster betrachteten extremen Pulse, werden die daraus resultierenden thermischen Transienten in jedem Fall sehr gering sein" (Foster, 2019).

Das Istituto Superiore di Sanità (Italienisches Nationales Gesundheitsinstitut) erkennt im ISTISAN-Bericht 2019 (nur auf Italienisch verfügbar) an, dass (Übersetzung durch den Autor): "(...) *auf der Grundlage der technischen Merkmale von [5G]-Basisstationen, um die Exposition korrekt zu überwachen, sollte der Mittelwert der Messungen elektromagnetischer Felder nicht allein betrachtet werden, sondern zusammen mit den Höchstwerten, die während kurzer Expositionszeiträume erreicht werden. Dieser Aspekt erfordert eine Aktualisierung des nationalen Gesetzes, das bisher keine kurzzeitigen Expositionen, sondern nur kontinuierliche Expositionen als Mittelwerte innerhalb von 6 Minuten [20 V/m, gelegentliche Exposition] oder 24 Stunden [6V/m, häusliche/berufliche Exposition für mehr als 4 Stunden/Tag] berücksichtigt hat.*" (ISTISAN 19/11, 2019).

Die Unsicherheit bei der Expositionsabschätzung bleibt bestehen. Die oben genannten Papiere zeigen, dass die Frage der Expositionsabschätzung bei der Einführung von 5G kompliziert ist, vor allem in Bezug auf die Überwachung der kontinuierlichen Veränderungen der Aktivität sowohl von Basisstationen (BS) als auch von Nutzern (UE) im Zusammenhang mit der MIMO-Technologie, während die technische Position zur Exposition in dem neuen Szenario in Bezug auf 2G-, 3G-, 4G- und 5G-Emissionen noch formuliert wird und daher unsicher ist. Die Expositionsbewertung ist ein zentrales Diskussionsthema, bevor die MMW- und MIMO-Technologie weltweit verbreitet wird.

1.3 Überblick über die politischen Maßnahmen international und in Europa

1.3.1 Internationale Organisationen

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (Baan et al., 2011; IARC, 2013) stufte HF-EMF als "möglicherweise krebserregend für den Menschen" (Gruppe 2B) ein.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat kürzlich erneut einen Aufruf zur Interessenbekundung für systematische Überprüfungen veröffentlicht (2020). Die WHO führt eine Bewertung der Gesundheitsrisiken von RF-EMF durch, die als Monografie in der Reihe Environmental Health Criteria veröffentlicht werden soll. Diese Veröffentlichung wird die Monographien über statische Felder (2006) und extrem niederfrequente Felder (2007) ergänzen und die 1993 veröffentlichte Monografie über HF-Felder (WHO, 1993) aktualisieren.

Die Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) veröffentlichte im März 2020 neue Leitlinien für mehrere neue Technologien, darunter 5G (ICNIRP, 2020a). Die neuen Richtlinien führen neue und überarbeitete Beschränkungen für 5G ein. Auf der ICNIRP-Website finden sich umfangreiche Informationen zu den neuen Richtlinien und den Unterschieden 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, so dass die Richtlinien nur die kurzfristige Exposition betreffen. Es wurden Sicherheitsrichtlinien für die derzeit eingesetzte 5G-Technologie festgelegt, obwohl noch keine ausreichenden wissenschaftlichen Untersuchungen durchgeführt wurden, während die von Experten begutachteten wissenschaftlichen Erkenntnisse über die nichtthermischen Auswirkungen der bereits verwendeten HF nicht in allen ICNIRP-Richtlinien bewertet wurden (ICNIRP, 2020c).

1.3.2 Europäische Organisationen und Regierungen (nach Jahr)

In der Resolution 1815 des Europarats wird hervorgehoben, dass: "*Die Unabhängigkeit und Glaubwürdigkeit des eingesetzten wissenschaftlichen Fachwissens ist entscheidend für eine transparente und ausgewogene Bewertung möglicher negativer Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt. Die Entschliebung empfiehlt: alle angemessenen Maßnahmen zu ergreifen, um die Exposition gegenüber EMF (insbesondere durch Mobiltelefone) zu verringern und insbesondere Kinder und Jugendliche zu schützen, die am meisten gefährdet zu sein scheinen, Kopftumore zu entwickeln; die wissenschaftliche Grundlage für die gegenwärtigen Normen für die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die von der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung festgelegt wurden, zu überdenken, da diese schwerwiegende Einschränkungen aufweisen; Verbreitung von 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 fortpflanzungsfähigen Alter; Bevorzugung kabelgebundener Internetverbindungen (für Kinder im Allgemeinen und insbesondere in Schulen) und strenge Regulierung der Nutzung von Mobiltelefonen durch Schulkinder auf dem Schulgelände; Aufstockung der öffentlichen Mittel für unabhängige Forschung zur Bewertung der Gesundheitsrisiken.*" (Versammlung des Europäischen Parlaments, 2011)

Die französische Agentur für Lebensmittel, Umwelt- und Arbeitsschutz (ANSES) gab 2013 *"Empfehlungen zur Begrenzung der Exposition gegenüber Funkfrequenzen heraus, da es nur begrenzte Hinweise auf verschiedene biologische Wirkungen bei Menschen oder Tieren gibt. Darüber hinaus deuten einige Veröffentlichungen auf ein mögliches erhöhtes Langzeitrisiko für Hirntumore bei Vielnutzern 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 Hochfrequenzen - insbesondere durch Mobiltelefone - zu begrenzen, vor allem für Kinder und Intensivnutzer, und die Gesamtexposition, die sich aus Relaisantennen ergibt, zu kontrollieren. Die ANSES wird auch ihre Arbeit zu elektrosensiblen Personen weiter ausbauen, insbesondere durch die Prüfung aller verfügbaren französischen und internationalen Daten zu diesem Thema, das eine genauere Betrachtung verdient. Zur Begrenzung der Hochfrequenzexposition, insbesondere bei den am meisten gefährdeten Bevölkerungsgruppen, empfiehlt die Agentur daher: - für erwachsene Intensivnutzer von Mobiltelefonen (im Gesprächsmodus): Verwendung von Freisprecheinrichtungen und generell für alle Nutzer, den Kauf von Telefonen mit den niedrigsten SAR-[Werten] zu bevorzugen; - die Exposition von Kindern zu verringern, indem sie zu einer nur moderaten Nutzung von Mobiltelefonen angehalten werden; die Exposition der Bevölkerung in Außen- und Innenräumen durch Messkampagnen weiter zu verbessern; dass die Entwicklung neuer Mobilfunknetzinfrastrukturen Gegenstand vorheriger Studien zur Charakterisierung der Exposition ist und dass eine eingehende Studie über die Folgen einer möglichen Vervielfachung der Zahl der Relaisantennen durchgeführt wird, um die Umweltexposition zu verringern; - dass die Bedingungen in den bestehenden Anlagen, die die höchste Exposition der Bevölkerung verursachen, dokumentiert werden und untersucht wird, inwieweit diese Exposition durch technische Mittel verringert werden kann; - dass bei allen gängigen Geräten, die elektromagnetische Felder aussenden und für den körpernahen Gebrauch bestimmt sind (DECT-Telefone, Tablet-Computer, Babyphone usw.), der maximale Expositionswert angegeben wird.) den Höchstwert der erzeugten Exposition (z. B. SAR) anzeigen, wie es bereits bei Mobiltelefonen der Fall ist; schließlich gibt die Agentur zur Lösung der verschiedenen Unsicherheiten, die sie bei der Durchführung dieser Arbeiten festgestellt hat, und zusätzlich zu den bereits im Rahmen des Nationalen Plans für Forschung im Bereich Umwelt und Gesundheit am Arbeitsplatz durchgeführten Forschungsprojekten eine Reihe von Forschungsempfehlungen ab" (ANSES, 2013).*

Der Wissenschaftliche Ausschuss der Europäischen Kommission für neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken (SCENIHR) hatte den Auftrag, die Risiken von EMF zu bewerten und überprüft regelmäßig die verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse, um zu beurteilen, ob sie die in der Empfehlung 1999/519/EG des Rates vorgeschlagenen Expositionsgrenzwerte noch unterstützen. In seiner letzten Stellungnahme vom Januar 2015 vertrat der SCENIHR die Auffassung, dass es keine Belege dafür gibt, dass EMF-Strahlung die kognitiven Funktionen des Menschen beeinträchtigt oder zu einem Anstieg der Krebsfälle bei Erwachsenen und Kindern beiträgt (SCENIHR, 2015). Die International EMF Alliance (IEMFA) wies jedoch darauf hin, dass viele Mitglieder des SCENIHR in einem Interessenkonflikt stehen könnten, da sie berufliche Beziehungen zu verschiedenen Telekommunikationsunternehmen unterhalten oder von diesen finanziert werden.

Infolgedessen hat der Wissenschaftliche Ausschuss für Gesundheit, Umwelt und neu auftretende Risiken (SCHEER), der den früheren SCENIHR ersetzt, in einer Erklärung im Dezember 2018 eine vorläufige Einschätzung der Bedeutung von 5G als dringlich angegeben. Außerdem schätzt er das Ausmaß, die Dringlichkeit und die Wechselwirkungen (mit Ökosystemen und Arten) der möglichen Gefahr als hoch ein. Er weist darauf hin, dass eine 5G-Umgebung biologische Folgen haben könnte, da es an *"(...) Belegen für die Entwicklung von Expositionsrichtlinien für die 5G-Technologie"* mangelt (SCHEER, 2018).

In einem Briefing vom Juni 2017 erklärte der Europäische Parlamentarische Forschungsdienst: *"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 neueren Studie zufolge könnte sich dies als weiterer Engpass erweisen, falls 5G aufgrund "seiner städtischen Konzentration und dichten Zellstruktur, seiner Verwendung viel höherer Mikrowellenfrequenzen und seiner stark gerichteten Konzentration" Gesundheitsrisiken birgt. In den USA gab eine von der Regierung finanzierte Studie aus dem Jahr 2016 Anlass zur Sorge, da sie in ihren vorläufigen Ergebnissen bei Ratten, die drahtloser Strahlung ausgesetzt waren, signifikant höhere Raten seltener Tumore des Gehirns und des Herzens feststellte. Andere Untersuchungen und Veröffentlichungen aus dem Jahr 2017 legen ebenfalls nahe, dass die langfristige Nutzung von Mobiltelefonen das Hirntumorrisiko erhöhen könnte. Die jüngste Stellungnahme der Sachverständigengruppe der Kommission aus dem Jahr 2015 und Forschungen der Weltgesundheitsorganisation erkennen jedoch keinen direkten Zusammenhang an. In Frankreich kam eine Untersuchung der drahtlosen Strahlung zu dem Schluss, dass alle drahtlosen Geräte auf ihre Auswirkungen auf die Gesundheit von Kindern untersucht werden müssen, und empfiehlt, Kinder nur in Maßen und unter Aufsicht zu benutzen. Dieses komplexe Thema bleibt daher umstritten, während weitere Forschungen durchgeführt werden"* (EPRS, 2017).

In einem neueren EPRS-Dokument heißt es dazu: *"Die jüngste wissenschaftliche Literatur zeigt, dass kontinuierliche drahtlose Strahlung biologische Auswirkungen zu haben scheint, insbesondere wenn man die besonderen Merkmale von 5G berücksichtigt: die Kombination von MMW, eine höhere Frequenz, die Menge der Sender und die Menge der Verbindungen. Verschiedene Studien deuten darauf hin, dass 5G die Gesundheit von Menschen, Pflanzen, Tieren, Insekten und Mikroben beeinträchtigen könnte - und da es sich bei 5G um eine noch nicht getestete Technologie handelt, wäre ein vorsichtiges Vorgehen ratsam" (EPRS, 2020).*

Das Bundesamt für Strahlenschutz in Deutschland hat einen Bericht veröffentlicht, in dem es heißt: *"In ein paar Jahren wird 5G zu höheren Frequenzen führen. Deren Auswirkungen sind jedoch noch nicht gut erforscht. Das Bundesamt für Strahlenschutz rät zu einem vorsichtigen Ausbau von 5G und wird die Auswirkungen der neuen Frequenzbänder weiter untersuchen" (FORPG, 2019).*

Im Jahr 2020 veröffentlichte der wissenschaftliche EMF-Rat der schwedischen Strahlenschutzbehörde (SSM) seinen 14. Report. Es handelt sich um einen Konsensbericht, was bedeutet, dass alle Mitglieder des wissenschaftlichen Rates dem Bericht in vollem Umfang zustimmen. Trotz der Tatsache, dass bisher keine Gesundheitsrisiken durch schwache EMF festgestellt wurden, ist die Behörde der Ansicht: *"Weitere Forschung ist wichtig, insbesondere im Hinblick auf langfristige Auswirkungen, da die gesamte Bevölkerung exponiert ist. Eine Schlüsselfrage ist hier die weitere Untersuchung des in Tierversuchen beobachteten Zusammenhangs zwischen Funkwellenexposition und oxidativem Stress und die Feststellung, ob und in welchem Ausmaß dies die menschliche Gesundheit beeinträchtigen kann. Es besteht auch die Notwendigkeit, die in Tierversuchen beobachtete Verringerung der Spermienzahl, der Lebensfähigkeit der Spermien und des Serumtestosterons aufgrund von Radiowellenexposition der Hoden weiter zu untersuchen, bevor irgendwelche Schlussfolgerungen hinsichtlich der möglichen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit gezogen werden können" (SSM, 2020).*

Das Österreichische Institut für Technologie (AIT) stellt fest: *"1) Elektromagnetische Felder wurden bereits bei früheren Generationen des Mobilfunks als potenzielles Gesundheitsrisiko betrachtet. Im Jahr 2011 stufte die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) Mobilfunkstrahlung als "möglicherweise krebserregend" ein. Bis heute wird dieses Thema unter Experten sehr kontrovers diskutiert. 2) 5G, die neueste Generation von Mobilfunknetzen, verspricht die Übertragung größerer Datenmengen bei geringerer Latenzzeit. 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 hat im September 2020 seine Stellungnahme zu 5G und Gesundheit veröffentlicht. Eine Auswahl von Zitaten aus dem Bericht lautet wie folgt:

"Der Rollout von 5G-Netzen hat gerade erst begonnen. Daher gibt es noch keine Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen einer (langfristigen) Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern mit den Frequenzen, die für 5G reserviert sind"; "Laut dem Ausschuss kann nicht ausgeschlossen werden, dass das Auftreten von Krebs, verminderter männlicher Fruchtbarkeit, schlechten Schwangerschaftsergebnissen 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 Krankheiten oder Zuständen jedoch weder für erwiesen noch für wahrscheinlich"; "Es gibt so gut wie keine Forschung zu den Auswirkungen der Exposition bei Frequenzen um 26 GHz"; "Der Ausschuss empfiehlt, das 26-GHz-Frequenzband für 5G so lange nicht zu nutzen, wie die potenziellen Gesundheitsrisiken nicht untersucht wurden"; "Der Ausschuss empfiehlt, die neuesten Leitlinien der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) als Grundlage für die Expositions politik in den Niederlanden zu verwenden. Da nicht ausgeschlossen werden kann, dass auch die Exposition nach den neuesten ICNIRP-Normen die Gesundheit beeinträchtigen 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 Auswirkungen der HF-Exposition berichtet, aber als Schlussfolgerung empfiehlt der Ausschuss nur einen vorsichtigen Ansatz (Gesundheitsrat der Niederlande, 2020).

In der Schweiz ist das Bundesamt für Umwelt (BAFU) die Regierungsstelle, 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 Information und Aktualisierung der Öffentlichkeit über den aktuellen Stand der Forschung, der die Grundlage für die in der Schweizer "Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NIS)" festgelegten Immissionsgrenzwerte bildet. Bei gesicherten neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen und Erfahrungen würde das BAFU dem Bundesrat empfehlen, diese Immissionsgrenzwerte anzupassen. Das BAFU hat deshalb eine beratende Gruppe von Schweizer Experten aus verschiedenen Disziplinen mit wissenschaftlicher Kompetenz zu EMF und NIS eingesetzt, die im Juli 2014 ihre Arbeit aufgenommen hat. Die Gruppe trägt den Namen BERENIS, in Anlehnung an das Akronym des entsprechenden deutschen Begriffs. Die BERENIS-Experten sichten regelmäßig die wissenschaftliche Literatur und bewerten die Publikationen, die sie als relevant für den Schutz des Menschen vor potenziell schädlichen Einflüssen erachten.

Im Rahmen der Arbeit von BERENIS wird nichtionisierende Strahlung (NIR) bei Frequenzen unter 10 GHz behandelt.

In der Sonderausgabe des BERENIS-Newsletters (BERENIS, 2021) wird eine aktuelle Bewertung eines möglichen Zusammenhangs zwischen oxidativem Stress und der Exposition gegenüber EMF und deren mutmaßlichen Auswirkungen auf die Gesundheit vorgestellt. Zu diesem Zweck wurden relevante Tier- und Zellstudien, die zwischen 2010 und 2020 veröffentlicht wurden, identifiziert und zusammengefasst. Ein ausführlicher Bericht, der diese neueren Studien detaillierter vorstellt, wird demnächst vom BAFU 1 veröffentlicht werden (zum Zeitpunkt dieses Berichts noch nicht verfügbar). Der Newsletter enthält eine Kurzfassung des Berichts, in der es heißt: *"Die Mehrheit der Tierstudien und mehr als die Hälfte der Zellstudien lieferten Hinweise auf erhöhten oxidativen Stress durch RF-EMF (...). Diese Annahme basiert auf Beobachtungen an einer großen Anzahl von Zelltypen bei unterschiedlichen Expositionszeiten und Dosen (SAR [Spezifische Absorptionsrate] oder Feldstärken), die ebenfalls im Bereich der gesetzlichen Grenzwerte liegen"*. Diese Literaturübersicht belegt, dass einer der Mechanismen, die den schädlichen Wirkungen von HF-EMF zugrunde liegen, oxidativer Stress ist, der freie Radikale bildet, die eine Reihe verschiedener Funktionen beeinträchtigen (Yakymenko, 2016).

1.4 Andere biologische Wirkungen als die in dieser Übersicht analysierten (sowohl FR1 als auch FR2)

Die vorliegende Übersichtsarbeit untersucht nur die karzinogenen und reproduktiven / entwicklungsbeeinträchtigenden Wirkungen im Zusammenhang mit HF-Exposition, die in epidemiologischen und Labortierstudien beobachtet wurden, die seit 1945 veröffentlicht wurden. Um die Auswirkungen von HF auf die menschliche Gesundheit besser zu verstehen, können wir jedoch nicht die Tatsache ignorieren, dass auch andere biologische, nicht thermische Wirkungen berichtet wurden. Wir brauchen zum Beispiel nur die überwiegende Zahl der von 1990 bis 2020 veröffentlichten Forschungsarbeiten anzuführen, in denen verschiedene signifikante Auswirkungen der Exposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung festgestellt wurden. Insgesamt haben 75 % (n=711) von 944 analysierten Hochfrequenzstrahlungsstudien über biologische Auswirkungen berichtet (Moskowitz, 2018).

Das National Toxicology Program (NTP) stellte fest, dass die HF-EMF-Exposition mit einer Zunahme der DNA-Schäden verbunden war. Insbesondere wurde festgestellt, dass HF-EMF-Exposition mit einer signifikanten Zunahme von DNA-Schäden im frontalen Kortex des Gehirns von männlichen Mäusen, in den Blutzellen weiblicher Mäuse und im Hippocampus männlicher Ratten verbunden war. Es gibt viele Faktoren, die beeinflussen, ob geschädigte DNA zu Tumoren führt. Das NTP plant die Durchführung weiterer Studien, um mehr darüber zu erfahren, wie RF-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 des rechten Ventrikels bei männlichen und weiblichen Ratten (NTP, 2018).

MMW, die in den oben genannten Studien kaum berücksichtigt wurden, haben spezifische Eigenschaften. MMWs werden meist innerhalb von 1 bis 2 Millimetern der menschlichen Haut und in den Oberflächenschichten der Hornhaut absorbiert. Somit sind die Haut oder oberflächennahe Gewebeschichten die primären Ziele dieser Strahlung. Da die Haut Kapillaren und Nervenenden enthält, können die Bioeffekte von MMW durch molekulare Mechanismen von der Haut oder durch das Nervensystem übertragen werden. Thermische (oder heizende) Effekte treten auf, wenn die Leistungsdichte der Wellen über 5-10 mW/cm² liegt (Foster, 1998).

Solche hochintensiven MMWs wirken auf die menschliche Haut und die Hornhaut dosisabhängig - beginnend mit einem Wärmegefühl, gefolgt von Schmerzen und physischen Schäden bei höherer Exposition. Die Temperaturerhöhung beeinträchtigt das Wachstum, die Morphologie und den Stoffwechsel der Zellen, führt zur Bildung freier Radikale und schädigt die DNA. Nur wenige Studien haben eine längere Exposition mit schwacher MMW-Strahlung untersucht, und keine Forschung hat sich auf die Exposition mit MMW-Strahlung in Kombination mit anderen HF-Strahlen konzentriert. Einige Studien berichteten, dass die Strahlung das Fortschreiten des Zellzyklus hemmt, und einige Studien berichteten über keine biologischen Auswirkungen (Le Drean et al., 2013).

(Ramundo-Orlando, 2010) stellte fest: *"Eine große Anzahl von Zellstudien hat darauf hingewiesen, dass MMW die strukturellen und funktionellen Eigenschaften von Membranen verändern können"*. Die Exposition gegenüber MMW kann die Plasmamembran entweder durch die Veränderung der Ionenkanalaktivität oder durch die Veränderung der Phospholipid-Doppelschicht beeinflussen. Auch Wassermoleküle scheinen bei diesen Wirkungen eine Rolle zu spielen. Die Nervenenden der Haut sind ein wahrscheinliches Ziel von MMWs und der mögliche Ausgangspunkt zahlrei-

cher biologischer Wirkungen. MMW können das Immunsystem durch Stimulation des peripheren Nervensystems aktivieren (Ramundo-Orlando, 2010).

1998 veröffentlichten Wissenschaftler von Forschungsinstituten der US-Armee einen bahnbrechenden Überblick über die Forschung zu MMWs. Sie berichteten: *"Erhöhte Empfindlichkeit und sogar Überempfindlichkeit einzelner Exemplare gegenüber MMW kann real sein. 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 MMW-Überempfindlichkeit berichtet, die auf eine bestimmte Wellenlänge beschränkt war oder nicht (Golovacheva, 1995). Man sollte sich auch darüber im Klaren sein, dass die biologischen Auswirkungen einer längeren oder chronischen MMW-Exposition des gesamten Körpers oder eines großen Körperbereichs nie untersucht worden sind. Die Sicherheitsgrenzwerte für diese Art von Exposition beruhen ausschließlich auf Vorhersagen der Energiedeposition 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 einer Exposition von Mäusen gegenüber Millimeterstrahlung (37-60 GHz; 1 Milliwatt pro Quadratcentimeter) für 15 Minuten täglich über 60 Tage untersucht wurden. Die Ergebnisse der Tiere wurden mit einer Stichprobe von Menschen verglichen, die mit Millimeter-Generatoren arbeiten. In der Zusammenfassung der Studie heißt es: *"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. Der Grad der ungünstigen Wirkung von Millimeterwellen hängt von der Dauer der Strahlung und den individuellen Eigenschaften des Organismus ab"* (Zalyubovskaya, 1977).

Auch Mikroben werden durch MMW-Strahlung beeinträchtigt. Im Jahr 2014 wurde ein Bericht über die Auswirkungen von MMW auf Bakterien veröffentlicht. Die Autoren fassten ihre Ergebnisse wie folgt zusammen: *"(...) Bakterien und andere Zellen könnten durch elektromagnetische Felder im subextremen Hochfrequenzbereich miteinander kommunizieren. Diese MMW wirkten sich auf Escherichia coli und viele andere Bakterien aus, indem sie hauptsächlich ihr Wachstum hemmten und ihre Eigenschaften und Aktivität veränderten. Diese Wirkungen waren nicht thermisch und hingen von verschiedenen Faktoren ab. Die Folgen der Wechselwirkung von MMW mit Bakterien sind Veränderungen in ihrer Empfindlichkeit gegenüber verschiedenen biologisch aktiven Chemikalien, einschließlich Antibiotika. Diese Effekte sind von Bedeutung für das Verständnis veränderter Stoffwechselwege und die Unterscheidung der Rolle von Bakterien in der Umwelt; sie könnten zu Antibiotikaresistenzen bei Bakterien führen. Diese Effekte sind von Bedeutung für das Verständnis veränderter Stoffwechselwege und die Unterscheidung der Rolle von Bakterien in der Umwelt; sie könnten zu Antibiotikaresistenzen bei Bakterien führen"* (Adebayo et al., 2014).

"Die Veränderung der Empfindlichkeit von Bakterien gegenüber Antibiotika durch MMW-Bestrahlung kann für das Verständnis der Antibiotikaresistenz in der Umwelt von Bedeutung sein. In dieser Hinsicht ist es interessant, dass Bakterien wie Bacillus und Clostridium spp., die in der Nähe von Telekommunikationsstationen überlebt haben, sich als multiresistent erwiesen haben" (Soghomonyan et al., 2016).

In einer kürzlich veröffentlichten Arbeit wurde festgestellt: *"Zusammengenommen kann MW-bestrahltes Wasser [gepulste 3,5-GHz-Hochleistungsmikrowellen] die Zellphysiologie merklich verändern, während bestrahlte Medien und gepufferte Kochsalzlösungen vernachlässigbare oder irrelevante Veränderungen hervorrufen, die die Zellgesundheit nicht beeinträchtigen"* (Bhartiya et al., 2021).

Wir wissen jedoch, dass es athermische Bio-Responses gibt. In der Tat werden einige Frequenzen bereits zu therapeutischen Zwecken in einer Reihe von Bereichen der Medizin eingesetzt. Dazu gehören u. a. die Regeneration von Nerven, die Wundheilung, das Verhalten von Transplantaten, Diabetes sowie die Ischämie des Herzmuskels und des Gehirns (Herzinfarkt und Schlaganfall). Einige Studien deuten sogar auf einen möglichen Nutzen bei der Kontrolle bösartiger Erkrankungen hin. Elektrische Wechselfelder mit niedriger Intensität und mittlerer Frequenz (Tumorbehandlungsfelder), die auf sich teilende Zellen im Glioblastoma multiforme (bösartiger Hirntumor) abzielen, während sie 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 einige unerwünschte Wirkungen haben kann, sollten auch die nicht-thermischen unerwünschten Wirkungen von HF-EMF bei der Risikobewertung berücksichtigt werden. Zusammenfassend zeigt die von Experten begutachtete Forschung, dass eine kurzzeitige Exposition gegenüber MMW-Strahlung nicht nur menschliche Zellen beeinträchtigt, sondern auch zu Veränderungen in der Empfindlichkeit von für den Menschen schädlichen Bakterien und gegenüber verschiedenen biologisch aktiven Chemikalien, einschließlich Antibiotika, führen kann.

Da die gesundheitlichen Folgen einer langfristigen Exposition gegenüber MMW nur wenig erforscht sind, stellt die flächendeckende Einführung der 5G-Infrastruktur ein massives Experiment dar, das sich negativ auf die öffentliche Gesundheit auswirken kann. Leider gibt es nur wenige Studien, die eine längere (langfristige) Exposition gegenüber MMW niedriger Intensität untersucht haben, und soweit uns bekannt ist, hat sich keine Forschung auf die Exposition gegenüber MMW in Kombination mit anderen HF-Strahlen konzentriert.

1.5 Soziale Konflikte im Zusammenhang mit 5G

Ein weiterer Aspekt der 5G-Diskussion ist die soziale Polarisierung. Derzeit behaupten sowohl die Aktivisten der "Stop 5G"-Bewegung als auch die 5G-Befürworter, dass es Tausende von Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen der im Mobilfunk verwendeten HF und der damit verbundenen EMF gibt. Die Aktivisten behaupten, dass die Studien viele verschiedene schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit zeigen, die 5G-Befürworter behaupten, dass die Studien keine negativen Auswirkungen auf die Gesundheit zeigen. Beide Seiten verweisen auf das EMF-Portal, eine spezialisierte Datenbank in Deutschland: *"Die Internet-Informationenplattform EMF-Portal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH) fasst systematisch wissenschaftliche Forschungsdaten zu den Auswirkungen elektromagnetischer Felder (EMF) zusammen. Alle Informationen werden sowohl in deutscher als auch in englischer Sprache zur Verfügung gestellt. Kernstück des EMF-Portals ist eine umfangreiche Scoping-Datenbank mit einem Bestand von 32.119 Publikationen und 6.805 Zusammenfassungen einzelner wissenschaftlicher Studien zu den Wirkungen von EMF" (EMF-Portal Homepage)*. Die Zahl von 32.119 Publikationen (Stand: 20. Oktober 2020) umfasst die Studien aller Arten von biologischen und technischen Endpunkten zu allen EMF, die von RF ausgehen. Die Sammlung von Studien zu 5G-MMW-Frequenzen ist jedoch spärlich (etwa 100) und betrifft größtenteils technische/dosimetrische Studien. Folglich beruhen beide Behauptungen über die Sicherheit von 5G-MMW auf Annahmen und nicht auf wissenschaftlichen Erkenntnissen, ob sie nun schädlich sind oder nicht.

Die Frage des sozialen Konflikts wird von Leszczynski (2020) ausführlich behandelt. Es ist offensichtlich, dass das Szenario, in dem 5G genutzt werden soll, auf der einen Seite von Unsicherheit, auf der anderen Seite von Leugnung und auf einer weiteren Seite von übertriebenem Alarmismus geprägt ist.

2. Ziele der Studie und Methodik

Diese Übersichtsarbeit zielt darauf ab, den aktuellen Wissensstand über nicht-thermische Wirkungen in Bezug auf die karzinogenen und reproduktiven/entwicklungsbezogenen Gefahren der von 5G genutzten HF-EMF zu bewerten, wie sie sich aus experimentellen In-vivo-Studien und epidemiologischen Studien ergeben, wobei die Frequenzen 700 -3600 MHz und 26.000 MHz getrennt betrachtet werden.

2.1 Grundprinzipien

Dieser Überblick über die derzeit verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse konzentriert sich sowohl auf die karzinogenen als auch auf die reproduktiven/entwicklungsrelevanten Auswirkungen von HF aus Mobilfunk-Telekommunikationssystemen, die 2 bis 5G-Netze nutzen, und stützt sich dabei sowohl auf In-vivo-Tierstudien als auch auf epidemiologische Studien am Menschen.

Die ausgewerteten Studien wurden in 2 Gruppen unterteilt:

1) Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF im unteren Frequenzbereich (FR) (FR1: 450 bis 6000 MHz), der auch die Frequenzen umfasst, die in den bestehenden 2. bis 4. Generationen des zellularen Breitbandnetzes verwendet werden. Die aktuelle Evidenz aus den 1G-4G-Studien ist die beste derzeit verfügbare Evidenz. Die Studien wurden mit narrativen Methoden ausgewertet.

2) Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF im höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz - MMW). Bei den höheren Frequenzen handelt es sich um neue, bisher nicht für die Mobilkommunikation verwendete und für die neue 5G-Technologie spezifische Frequenzen, die besondere physikalische Eigenschaften und Wechselwirkungen mit biologischer Materie aufweisen (geringere Durchdringung, höhere Energie usw.): Sie wurden mit einer Scoping-Review-Methode separat betrachtet.

Scoping-Reviews sind sehr nützlich für die Bewertung von Forschungsergebnissen und werden häufig verwendet, um vorhandene wissenschaftliche Erkenntnisse in einem bestimmten Bereich in Bezug auf ihre Art, Qualität, andere Merkmale und ihren Umfang zu kategorisieren oder zu gruppieren. Diese Übersichtsarbeit wurde nach den Grundsätzen der Transparenz, Reproduzierbarkeit und Strenge durchgeführt. Dies wurde erreicht, indem die Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) als methodischer Rahmen für diese Arbeit verwendet wurden. Mindestens zwei Gutachter arbeiteten unabhängig voneinander an jeder Phase dieser Überprüfung: Einheitlichkeit und Standardisierung bei der Entscheidungsfindung wurden durch Diskussion und Konsensfindung unter den Gutachtern erreicht. Es wird zwischen dem narrativen Review (FR1) und dem Scoping Review (FR2) unterschieden, aber die Auswahl- und Bewertungskriterien, die für Scoping Reviews angegeben sind, wurden für beide Suchen und für die Aufnahme/Ausschließung von Studien zu den biologischen Endpunkten Krebs und Fortpflanzung/Entwicklung übernommen.

2.1.1 Krebs

Epidemiologische Studien sind potenziell anfällig für verschiedene Fehlerquellen. Die Qualität der Studien wurde im Rahmen des Überprüfungsprozesses bewertet, und alle informativen Studien wurden berücksichtigt. Die Aussagekraft einer Studie ist ihre Fähigkeit, einen tatsächlichen Zusammenhang zwischen dem Wirkstoff und Krebs aufzuzeigen, wenn es einen solchen gibt, oder das Fehlen eines Zusammenhangs, wenn kein Zusammenhang besteht. Zu den wichtigsten Determinanten der Informativität gehören: eine ausreichend große Studienpopulation, um präzise Schätzungen der Wirkung zu erhalten; eine ausreichende Zeitspanne zwischen der Exposition und der Messung des Ergebnisses, damit die Wirkung, falls vorhanden, beobachtet werden kann; das Vorhandensein eines angemessenen Expositionskontrasts (Intensität, Häufigkeit und/oder Dauer); biologisch relevante Definitionen der Exposition; und relevante und genau definierte Zeitfenster für Exposition und Ergebnis (IARC-Präambel, 2019).

Wie in der IARC-Präambel erläutert, haben die meisten Humankarzinogene, die in angemessener Weise auf Karzinogenität bei Versuchstieren untersucht wurden, positive Ergebnisse bei einer oder mehreren Tierarten erbracht. Bei einigen Stoffen wurde die Karzinogenität bei Versuchstieren nachgewiesen, bevor in epidemiologischen Studien ihre Karzinogenität beim Menschen festgestellt wurde. Obwohl eine solche Beobachtung nicht belegen kann, dass alle Stoffe, die bei Versuchstieren Krebs verursachen, auch beim Menschen Krebs verursachen, ist es biologisch plausibel, dass Stoffe, für die es ausreichende Beweise für die Karzinogenität bei Versuchstieren gibt, eine karzinogene Gefahr für den Menschen darstellen (IARC-Präambel, 2019).

Alle verfügbaren Langzeitstudien über Krebs bei Versuchstieren, die mit HF-EMF behandelt wurden, wurden nach einer gründlichen Bewertung der Studienmerkmale in die Überprüfung einbezogen. Studien, die wir als irrelevant für die Bewertung oder als unzureichend erachteten (z. B. zu kurze Dauer, zu wenige Tiere, schlechte Überlebensrate, Expositionsbewertung usw.), wurden ausgelassen. Es wurden Leitlinien für die Durchführung von Langzeit-Karzinogenitätsexperimenten veröffentlicht (z. B. OECD, 2018a), und ihre Kriterien wurden als Referenz für die Bewertung der Angemessenheit von Studien herangezogen.

Was krebsbezogene Studien zu HF betrifft, sowohl epidemiologische als auch experimentelle, wurden in den letzten Jahrzehnten bereits umfassende Literaturübersichten durchgeführt; insbesondere verweisen wir auf die IARC-Monographie 102, die sich mit dem HF-Bereich 30 kHz-300 GHz befasste. Im Mai 2011 trafen sich 30 Wissenschaftler aus 14 Ländern bei der IARC in Lyon, Frankreich, um die Karzinogenität von HF-EMF zu bewerten. Diese Bewertungen wurden als Band 102 der IARC-Monographien veröffentlicht. Eine Zusammenfassung der Schlussfolgerungen der Arbeitsgruppe und der Gründe für die Bewertung sowie die Studien, die die Schlussfolgerungen untermauern, wurden im Mai 2011 veröffentlicht (Baan et al., 2011), die vollständige Monografie wurde im April 2013 veröffentlicht (IARC, 2013).

Die Erstellung der IARC-Monografie zu HF wurde so geplant, dass die Ergebnisse der großen internationalen Fall-Kontroll-Studie INTERPHONE zur Mobiltelefonnutzung (durchgeführt 2003-2004; veröffentlicht 2010) einbezogen werden konnten. Wir beschlossen daher, die IARC-Publikation Monograph 102 (IARC, 2013) als "Schlüsselreferenz" zu verwenden, um die Daten von 2011 bis zum Jahr 2020 zu aktualisieren und somit den vorliegenden Bericht zu erstellen. Nachdem wir die Originalarbeiten zur IARC-Analyse von 2011, die 2013 veröffentlicht und durchgehend als (IARC, 2013) zitiert wurden, unter Berücksichtigung ihrer Bewertungskriterien gesammelt und geprüft hatten, um sie bei späteren Bewertungen zu berücksichtigen, sammelten wir alle relevanten Arbeiten ab 2011 nach denselben Kriterien.

Nachdem wir die verfügbare Literatur nach den unten beschriebenen Kriterien ausgewählt und geprüft hatten, haben wir im Sinne eines Scoping Reviews die Tabellen der IARC (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 ohne spezifische Kommentare klassifiziert, sondern nur als angemessen/unangemessen in Bezug auf Stichprobengröße, Studiendesign, Expositionsbewertung und, falls angemessen, positive/negative/äquivokale Ergebnisse:

- Angemessen: keine wesentlichen qualitativen oder quantitativen Einschränkungen.
- Unzureichend: größere qualitative oder quantitative Einschränkungen beeinträchtigen die Studie, die nicht geeignet ist, das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein bestimmter schädlicher Wirkungen nachzuweisen.

Wenn angemessen:

- Positiv: statistisch signifikante Zunahme der spezifischen Pathologie in Verbindung mit HF-EMF-Exposition.
- Zweideutig: Es wird eine schädliche Wirkung nachgewiesen, die eine marginale Zunahme (nicht statistisch signifikante Zunahme) der spezifischen Pathologie zeigt, die mit RF-EMF in Verbindung gebracht werden kann.
- Negativ: keine RF-EMF-bedingte Zunahme der spezifischen Pathologien.

2.1.2 Fortpflanzung/Entwicklung

Da bis heute keine adäquate, umfassende Übersicht über Studien zu den Auswirkungen auf die Reproduktion/Entwicklung existiert, wurde eine solche Übersicht über alle zwischen 1945 und 2020 veröffentlichten Studien durchgeführt. Nachdem wir die Literatur nach den unten beschriebenen Kriterien ausgewählt und geprüft hatten, fassten wir die Daten bis zum Jahr 2020 in speziellen Tabellen zusammen.

Um nur aussagekräftige Studien auszuwählen, wurde eine weitere Auswahl von Studien auf der Grundlage der Richtlinien NTP Modified One Generation Study und OECD 443 getroffen, die 2014 bewertet wurden (Foster et al., 2014), um Versuchstiere (Nagetiere) auf Anzeichen von Entwicklungspathologie, endokrinen Disruptoren, weiblicher Reproduktion, männlicher Reproduktion und dem Fortpflanzungssystem zu untersuchen.

Das Studiendesign der Leitlinie sieht mindestens 10 Tiere/Geschlecht/Gruppe vor, um statistisch belastbare Ergebnisse zu erzielen.

Die Zusammenfassungen der ausgewählten Studien sind im Text und in den Tabellen im Kapitel "Bewertung einzelner Studien" enthalten, unterteilt nach dem untersuchten Endpunkt und den Studienmerkmalen. Jede Studie ist nummeriert und in der gleichen Reihenfolge wie die entsprechende Tabelle aufgeführt. In den zusammenfassenden Tabellen werden die Studien ohne spezifische Kommentare klassifiziert, sondern nur als angemessen/unangemessen in Bezug auf Stichprobengröße, Studiendesign, Expositionsbewertung und, falls angemessen, positive/negative/äquivokale Ergebnisse:

- Angemessen: keine wesentlichen qualitativen oder quantitativen Einschränkungen.
- Unzureichend: größere qualitative oder quantitative Einschränkungen beeinträchtigen die Studie, die nicht geeignet ist, das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein bestimmter schädlicher Wirkungen nachzuweisen.

Wenn angemessen:

- Positiv: statistisch signifikante Zunahme der spezifischen Pathologie in Verbindung mit HF-EMF-Exposition.
- Zweideutig: Es wird eine schädliche Wirkung nachgewiesen, die eine marginale Zunahme (nicht statistisch signifikante Zunahme) der spezifischen Pathologie zeigt, die mit RF-EMF in Verbindung gebracht werden kann.
- Negativ: keine RF-EMF-bedingte Zunahme der spezifischen Pathologien.

2.2 Suchstrategie

Zunächst wurde eine Auswahl der am besten geeigneten Schlüsselwörter vorgenommen:

Exposition: EMF; RF; 5G; Hochfrequenzstrahlung; Hochfrequenz; elektromagnetisches Feld; elektromagnetische Strahlung.

Population (Tier): in vivo; experimentell; Tier; Nagetier(e); Ratte(n); Maus; Mäuse.

Population (Mensch): epidemiologisch; Beobachtung; Querschnitt; Fall-Kontrolle; Arbeiter; Militär; Bevölkerung.

Ergebnis (krebserzeugende Wirkungen): Krebs; Tumor.

Ergebnis (reproduktive Wirkungen): reproduktiv; Entwicklung; Fruchtbarkeit; Sperma; Eierstock; Schwangerschaft; ano-genital; Östrus.

Auf der Grundlage der Schlüsselwörter wurden die folgenden Suchstrings vorbereitet, um alle Studien von Interesse aus PubMed zu sammeln, einer großen Datenbank, die mehr als 30 Millionen Zitate biomedizinischer Literatur aus MEDLINE, biowissenschaftlichen Zeitschriften und Online-Büchern enthält. Die Zitate können Links zu Volltexten von PubMed Central und den Websites der Verlage enthalten.

Studien am Menschen, krebserregende Wirkungen

((epidemiologisch* OR Beobachtung* OR "Querschnitt" OR "Fallkontrolle" OR Arbeiter OR Militär OR Bevölkerung OR Kind OR Arbeitnehmer*) AND (EMF OR RF OR 5G OR "Hochfrequenzstrahlung" OR Hochfrequenz OR "elektromagnetisches Feld" OR "elektromagnetische Strahlung") AND (Krebs OR Tumor)) NOT (Therapie OR Ablation).

In vivo-Studien (Nagetiere), krebserregende Wirkungen

("in vivo" OR experimentell OR Tier OR Nagetier* OR Ratte OR Maus OR Mäuse OR Hamster* OR Kaninchen*) AND (EMF OR RF OR 5G OR "Hochfrequenzstrahlung" OR Hochfrequenz OR "elektromagnetisches Feld" OR "elektromagnetische Strahlung") AND (Krebs OR Tumor)) NOT (Therapie OR Ablation)

Studien am Menschen, Reproduktions- und Entwicklungseffekte

((epidemiologisch* OR Beobachtung* OR "Querschnitt" OR "Fallkontrolle" OR Arbeiter OR Militär OR Bevölkerung OR Kind OR Arbeitnehmer*) AND (EMF OR RF OR 5G OR "Hochfrequenzstrahlung" OR Hochfrequenz OR "elektromagnetisches Feld" OR "elektromagnetische Strahlung") AND (Fortpflanzung OR Entwicklung OR Fruchtbarkeit OR Sperma OR Eierstock OR Schwangerschaft OR "ano genital" OR Östrus)) NOT (Therapie OR Ablation)

In vivo (Nagetiere) und Reproduktions- und Entwicklungseffekte

((("in vivo" OR experimentell OR Tier OR Nagetier* OR Ratte OR Maus OR Mäuse OR Hamster* OR Kaninchen*) AND (EMF OR RF OR 5G OR "hochfrequente Strahlung" OR Hochfrequenz OR "elektromagnetisches Feld" OR "elektromagnetische Strahlung") AND (reproduktiv OR Entwicklung OR Fruchtbarkeit OR Sperma OR Eierstock OR Schwangerschaft OR "ano genital" OR Östrus)) NOT (Therapie OR Ablation).

Wir durchsuchten systematisch die elektronische akademische Datenbank PubMed und das EMF-Portal nach potenziell in Frage kommenden Einträgen. Die Suche in PubMed erfolgte am 24. Februar 2020 nach epidemiologischen und experimentellen Karzinogenitätsstudien und am 20. Juli 2020 nach epidemiologischen und experimentellen Studien zu Reproduktionsergebnissen - 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 es relevante, nicht doppelte Ergebnisse gibt. Wir haben auch die Bibliographien der zu diesem Zweck ausgewählten Studien überprüft. Schließlich haben wir Experten auf diesem Gebiet gebeten, unsere Listen zu überarbeiten und zusätzliche relevante Studien vorzuschlagen.

2.3 Auswahl der relevanten Literatur

Die "Population, Exposure, Comparator and Outcome"-Kriterien (PECO Statement, Morgan et al. 2018) wurden übernommen, um den Umfang dieser Arbeit und damit die Kriterien für die Auswahl der Literatur klar zu definieren:

Population: HF-exponierte Bevölkerung aus In-vivo-Studien, insbesondere experimentelle Bioassays an Nagetieren, da sie die besten Vorhersagemodelle für die menschliche Gesundheit darstellen, sowie Arbeitnehmer und die allgemeine Bevölkerung aus epidemiologischen Studien;

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

Vergleichsgruppe: unbehandelte Population (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 HF-Exposition in Verbindung gebracht wurden, insbesondere reproduktive Auswirkungen und karzinogene Auswirkungen (Vornoli et al., 2019).

Wir haben alle Arten von Studiendesigns für die Überprüfung berücksichtigt; nicht-originale Studien, Briefe und Kommentare wurden nicht berücksichtigt. Berücksichtigt wurden Peer-Review-Artikel in englischer Sprache, die zwischen 1945 und Januar 2021 veröffentlicht wurden. Englisch ist die am weitesten verbreitete Sprache für wissenschaftliche Veröffentlichungen, und bei Artikeln in anderen Sprachen ist in der Regel eine Zusammenfassung in Englisch verfügbar.

2.4 Screening-Verfahren

Der Screening-Prozess wurde mit der Online-App Rayyan QCRI für systematische Überprüfungen durchgeführt. Die Auswahl der Literatur wurde von zwei Gutachtern durchgeführt, die unabhängig voneinander alle Referenzen in zwei Schritten prüften: Im ersten Schritt wurde die Entscheidung über den Ausschluss/Einschluss auf der Grundlage von Titel und Zusammenfassung getroffen; im zweiten Schritt wurden die Volltexte der potenziell relevanten Artikel gründlich geprüft, um die Übereinstimmung mit den oben genannten PECO-Kriterien zu verifizieren. In der zweiten Phase der Auswahl wurden alle Einschluss-/Ausschlussentscheidungen und alle Zweifel von den beiden Gutachtern diskutiert, gelöst und vereinbart. Die Ergebnisse des Auswahlprozesses werden in den folgenden Abschnitten anhand von PRISMA-Flussdiagrammen dargestellt (Moher et al., 2009).

2.5 Extraktion von Informationen aus der einschlägigen Literatur

Es wurde beschlossen, zwei verschiedene Datenerfassungsformulare zu verwenden, um Informationen aus der ausgewählten Literatur zu extrahieren, da epidemiologische und experimentelle Studien sehr unterschiedliche Merkmale und Eigenheiten aufweisen, die berücksichtigt werden müssen. Die Instrumente wurden gewählt, um eine vollständige und standardisierte Erfassung aller Informationen zu erreichen, 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 zur Ausarbeitung, Vervollkommnung und Prüfung der gemeinsamen WHO/ILO-Methode zur Schätzung der arbeitsbedingten Krankheits- und Verletzungslast durchgeführt wurden (Mandrioli et al., 2018; Sgargi et al., 2020). Die Datentabelle für experimentelle Studien basiert auf dem Format, das in den IARC-Monographien zur Bewertung der Karzinogenität verwendet wird.

Bei beiden Formularen handelt es sich um validierte Instrumente, die nachweislich umfassende Daten aus der einschlägigen Literatur liefern. Kalibrierung und Einheitlichkeit wurden durch mehrere Runden unabhängiger Blindstudienextraktion, Diskussion und Konsensfindung unter den Gutachtern erreicht.

Für epidemiologische Studien wurde eine breite Palette von Informationen extrahiert, nämlich:

Ref. ID; Art der Studie; Art der Datenerhebung; Land; Jahr; N; Geschlecht; Alter; Beruf; Quelle der Exposition; Dauer der Exposition; Häufigkeit der Exposition; Intensität der Exposition; sonstige Koexposition/Anpassungen; Methode zur Expositionsbewertung; beobachtete gesundheitliche Auswirkungen; Maß der beobachteten gesundheitlichen Auswirkungen; Ergebnisse; Schlussfolgerungen; Autoren; Zugehörigkeit; Interessenkonflikte; Finanzierung.

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

Referenz-ID; Art der Studie; Stamm, Spezies (Geschlecht); Expositionszeit; Häufigkeit; Intensität; jede andere Koexposition; Expositionszeit - Anzahl der Tiere; erhöhte Tumorzinzidenz

Die Informationen wurden von den Gutachtern unabhängig voneinander extrahiert und anschließend von allen Gutachtern und einem leitenden Experten doppelt überprüft.

2.6 Evidenzsynthese

Bei der abschließenden Bewertung der Ergebnisse der Überprüfung sowohl für epidemiologische als auch für experimentelle Studien und für Krebs- und Reproduktions-/Entwicklungsergebnisse haben wir die in der (IARC-Präambel, 2019) angegebenen Parameter berücksichtigt, die auf die Bedürfnisse des vorliegenden Berichts zugeschnitten sind und für beide Endpunkte (d. h. Krebs- und Reproduktions-/Entwicklungswirkungen) gelten:

Ausreichende Evidenz: Es wurde ein kausaler Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber RF-EMF und der spezifischen schädlichen Wirkung festgestellt. Das heißt, ein positiver Zusammenhang wurde in der Gesamtheit der Belege für die Exposition gegenüber dem Agens und der spezifischen schädlichen Wirkung in Studien beobachtet, in denen Zufall, Verzerrung und Störfaktoren mit angemessener Sicherheit ausgeschlossen wurden.

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

Keine Evidenz: Es liegen keine Daten oder Beweise vor, die auf das Fehlen von schädlichen Wirkungen hinweisen (zu spezifizieren).

2.7 Gesamtbewertung der vorliegenden Übersichtsarbeit

Die Ergebnisse der Überprüfung sowohl für Krebs als auch für reproduktive/entwicklungsbezogene Ergebnisse 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 Evidenzströme, die für die Gesamtklassifizierung durch die IARC verwendet wurden.

Die Argumentation, die das IARC für seine Bewertung herangezogen hat, wird zusammengefasst, so dass die Grundlage für die angebotene Bewertung transparent ist. Die Präambel der IARC-Monographie integriert die wichtigsten Erkenntnisse aus Studien über Krebs beim Menschen, Krebs bei Versuchstieren und mechanistische Erkenntnisse (IARC-Präambel, 2019).

Die IARC-Kriterien beziehen sich auf Krebs, gelten aber auch für die Bewertung von Auswirkungen auf Reproduktions-/Entwicklungsparameter. Mechanistische Nachweise wurden bei der vorliegenden Überprüfung nicht berücksichtigt, daher haben wir die Ergebnisse für Krebs und Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung beim Menschen ausschließlich mit den Ergebnissen für Krebs und Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung bei Versuchstieren integriert und dabei die in Abbildung 9 angegebenen Kriterien verwendet.

Figure 7 – IARC criteria for overall classifications (the evidence in bold italic represents the basis of the overall evaluation) (Source: IARC Preamble, 2019)

Evidence of cancer in humans ^a		Stream of evidence		Classification based on strength of evidence
		Evidence of cancer in experimental animals	Mechanistic evidence	
Sufficient	Not necessary	Not necessary		Carcinogenic to humans (Group 1)
Limited or Inadequate	Sufficient	Strong (b) (1) (exposed humans)		
Limited	Sufficient	Strong (b) (2-3), Limited or Inadequate		Probably carcinogenic to humans (Group 2A)
Inadequate	Sufficient	Strong (b) (2) (human cells or tissues)		
Limited	Less than Sufficient	Strong (b) (1-3)		
Limited or Inadequate	Not necessary	Strong (a) (mechanistic class)		
Limited	Less than Sufficient	Limited or Inadequate		Possibly carcinogenic to humans (Group 2B)
Inadequate	Sufficient	Strong (b) (3), Limited or Inadequate		
Inadequate	Less than Sufficient	Strong (b) (1-3)		
Limited	Sufficient	Strong (c) (does not operate in humans) ^b		
Inadequate	Sufficient	Strong (c) (does not operate in humans) ^b		
All other situations not listed above				Not classifiable as to its carcinogenicity to humans (Group 3)

^a Human cancer(s) with highest evaluation.

^b The strong evidence that the mechanism of carcinogenicity in experimental animals does not operate in humans must specifically be for the tumour sites supporting the classification of sufficient evidence in experimental animals.

Figure 8 – Criteria for overall evaluation in the present review (FR1 and FR2)

Evidence in humans	Evidence in experimental animals	Evaluation based on strength of evidence
Sufficient	Not necessary	Clear association between exposure and the adverse effect
Limited	Sufficient	Probable association between exposure and the adverse effect
Limited	Less than sufficient	Possible association between exposure and the adverse effect
Inadequate	Inadequate or limited	Not classifiable

3. Beschränkungen der vorliegenden Übersichtsarbeiten

3.1 Bewertung der einzelnen Studien

Experimentelle Studien verwenden eine standardisierte Methodik, die spezifischen Leitlinien folgt, was die Bewertung der einzelnen Ergebnisse und die Beurteilung der Qualität der Studie und der Ergebnisse wesentlich erleichtert. Die verblindete Bewertung der Ergebnisse, die Angemessenheit des Stichprobenumfangs und die Angemessenheit der statistischen Analyse wurden ebenfalls bewertet und für jede Studie angegeben, sofern verfügbar. Bei der Auswahl und Analyse der Tierstudien haben wir darauf geachtet, dass sie den einschlägigen Leitlinien entsprechen.

Bei epidemiologischen Studien stellen Erinnerungsfehler eine systematische Gefahr dar, die bei retrospektiven Studien auftritt, wenn die Teilnehmer befragt werden oder Fragebögen über eine in der Vergangenheit liegende Exposition ausfüllen. In der Regel besteht das Problem darin, dass die Erinnerungen der Personen ungenau oder unvollständig sein können; dies wird zu einem ernstem Problem bei Fall-Kontroll-Studien, bei denen Fälle, deren Gesundheit beeinträchtigt wurde, wahrscheinlich bewusster und klarer über die frühere Exposition sind, während die Kontrollen oft weniger bewusst sind und sich weniger genau erinnern. Dies kann den beobachteten Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung verstärken oder abschwächen.

3.2 Bewertung der Exposition

Die Expositionsabschätzung ist ein kritischer Punkt in epidemiologischen Studien zu HF aus der Mobilkommunikation, da sie sehr anspruchsvoll sein kann und, wenn sie nicht den höchsten Standards entspricht, die Ergebnisse nichtssagend machen kann. Wir haben Studien ausgeschlossen, die aufgrund von Mängeln in ihrer Durchführung und Analyse keine nützlichen Informationen liefern.

Wie im vorangegangenen Abschnitt erwähnt, kann der Recall-Bias (Erinnerungsverzerrung), in allen Fall-Kontroll-Studien mit selbstberichteten Expositionen ein großes Problem darstellen. Darüber hinaus sind erhebliche Fehlklassifizierungen häufig ein Problem in Studien, in denen die Expositionsabschätzung allein auf Berufsbezeichnungen oder Mobiltelefon-Vertragsabschlüsse, basiert; in solchen Fällen war dies lediglich eine Schätzung der Exposition. Um eine aussagekräftige Interpretation zu ermöglichen, haben wir versucht, alle Originalberichte objektiv, umfassend und konsistent 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 wurden 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 erreichen.

Wie im Bericht beschrieben, hängen die Frequenzen (unter anderem) mit der Eindringtiefe in das Gewebe zusammen, aber auch andere Faktoren der Exposition können die gesundheitlichen Folgen beeinflussen. Angesichts 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-4G direkt auf 5G verallgemeinert werden können (selbst wenn die gleichen Frequenzen verwendet werden, hier FR1). Diese Unsicherheiten bei der Charakterisierung 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 der Exposition gegenüber HF-EMF und den damit verbundenen (vermuteten oder nachgewiesenen) negativen Gesundheitsfolgen anders sein. Diese Überlegungen sollten nicht von der Tatsache ablenken, dass die derzeitigen Erkenntnisse aus 1G-4G-Studien die besten verfügbaren Erkenntnisse sind.

Zu den experimentellen Untersuchungen gehören 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 in der Regel während des gesamten Experiments beibehalten; die Kontrollgruppe (scheinexponierte Gruppe) 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 im Hinblick auf die Expositionsbewertung für angemessen, da sie die Situation des menschlichen Pendants simulieren.

3.3 Die Grenzen einer systematischen Übersichtsarbeit über 5G-Frequenzen

Die STOA bat den Autor, die verfügbaren Informationen über die Auswirkungen von 5G-Frequenzen auf die Gesundheit zu sammeln. Ursprünglich sollten die Kriterien einer systematischen Übersichtsarbeit befolgt werden, aber wir stellten bald fest, dass es keine geeigneten Studien zu Millimeterwellen für die relevanten Endpunkte gibt. Wir einigten uns daher darauf, einen narrativen Überblick über die niedrigsten Frequenzen (FR1), die bereits von maßgeblichen Arbeitsgruppen zumindest auf krebserregende Auswirkungen bis 2011 bewertet wurden, und einen Scoping Review über Millimeterwellen (FR2) durchzuführen, der erwartungsgemäß keine angemessenen Ergebnisse lieferte. Die Überprüfungsmethodik (der Scoping Review) wurde jedoch für die Ergebnisse von FR1 und FR2 beibehalten.

3.4 Gesamtbewertung

Ein Scoping Review (SR) erfordert ein hohes Maß an Fachwissen in mehreren Disziplinen. Die Bewertung einzelner Studien stellte eine große Herausforderung für die an der Überprüfung beteiligten Wissenschaftler dar. Eine systematische Bewertung würde eine vollständige und tiefgreifende Überprüfung der zugrunde liegenden Studien erfordern. Dies würde den Rahmen dieses Dokuments sprengen, das für die Mitglieder und Mitarbeiter des Europäischen Parlaments als Hintergrundmaterial zur Unterstützung ihrer parlamentarischen Arbeit erstellt wurde und an diese gerichtet ist.

Die von der IARC angenommenen Bewertungskriterien, wie sie in ihrer Präambel (IARC Preamble, 2019) beschrieben sind, wurden sowohl auf Krebs als auch auf Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung zugeschnitten und verwendet. Wir haben diese konsolidierten Kriterien verwendet, um völlig transparent zu arbeiten und den Gutachtern zu ermöglichen, unsere Arbeit zu überprüfen.

Dieser Bericht wurde von Dr. Fiorella Belpoggi verfasst, einer Expertin für HF-EMF, experimentelle Karzinogenese und experimentelle Studien zu reproduktiven und entwicklungsbezogenen Gesundheitsauswirkungen. Unterstützt wurde die Autorin von Experten mit Fachkenntnissen in den Bereichen systematische/zusammenfassende Überprüfungsmethodik (DM), Biostatistik (DS), Krebsforschung (AV), Expositionsabschätzung (FaB) und menschliche Reproduktion und Entwicklung (CF, AG). Gemeinsam verfügt das Team über ein großes Fachwissen in den meisten Bereichen, die für diese Überprüfung erforderlich sind, vielleicht mit Kapazitätsverbesserungen für in der Krebs Epidemiologie.

4. Bewertung der einzelnen Studien

4.1 Karzinogenität nach Frequenzbereich

4.1.1 Krebs in epidemiologischen Studien: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6000 MHz), der auch die in den zellularen Breitbandnetzen der vorherigen Generationen (1G-4G) verwendeten Frequenzen umfasst

Es ergaben sich 950 Artikel, die durch Datenbankrecherchen und andere Quellen ermittelt wurden. Nach der Entfernung von Duplikaten (20) und dem Ausschluss nicht relevanter Artikel (685) auf der Grundlage des Titels und der Zusammenfassungen verblieben 245 Artikel. Auf der Grundlage eines Volltextscreenings wurden weitere 90 Artikel ausgeschlossen, so dass 155 Artikel mit einer angemessenen Häufigkeit in diese qualitative Synthese einbezogen werden konnten.

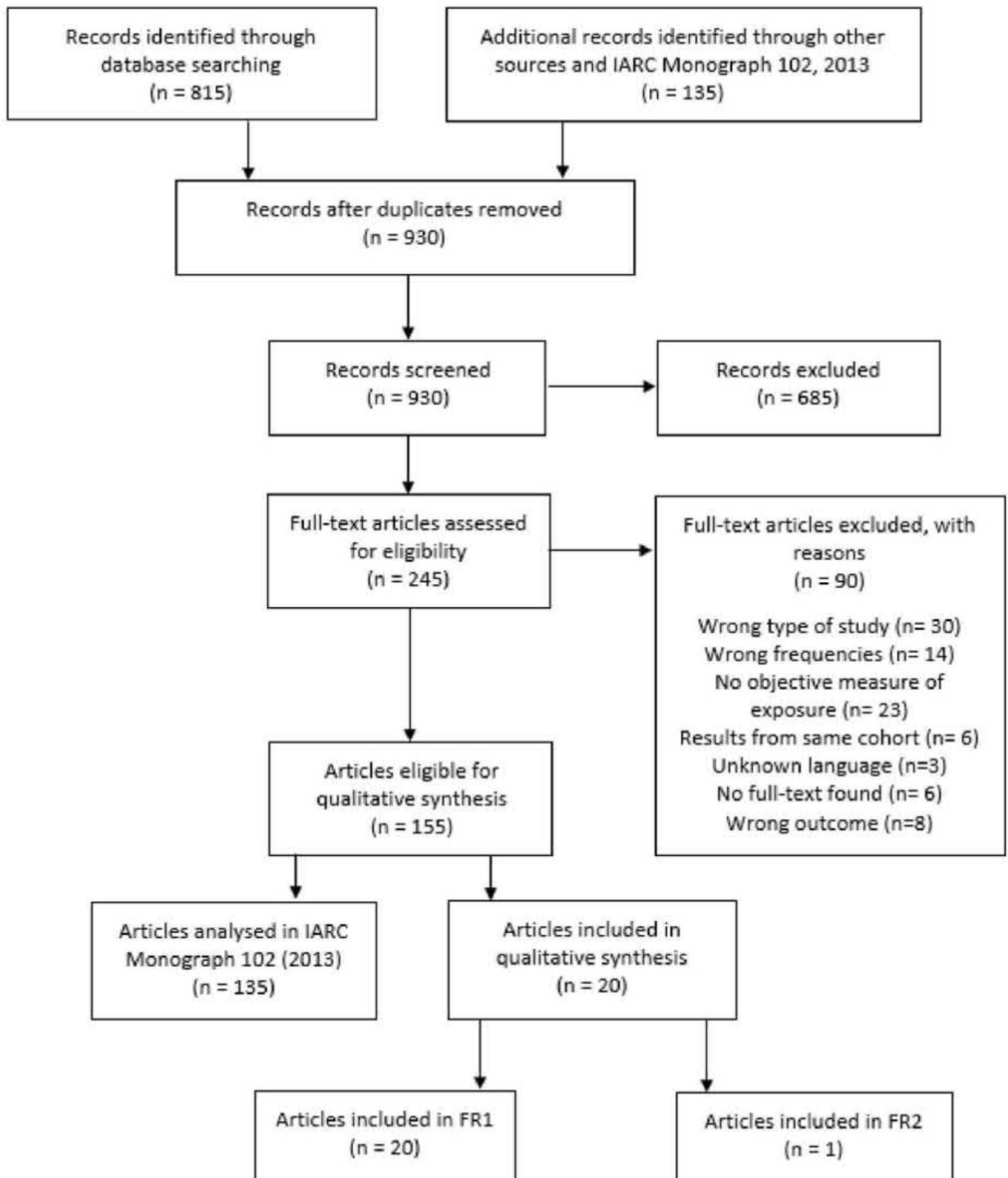
Wie im Abschnitt zur Methodik näher erläutert, haben wir die IARC-Monographie (2013) als Hauptreferenz für alle bis 2011 veröffentlichten Studien herangezogen: Alle Originalarbeiten (135), die in die IARC-Monographie aufgenommen wurden, wurden analysiert und auch in diesem Bericht referenziert; natürlich haben wir für diesen Bericht nur die endgültige IARC-Klassifikation berücksichtigt. Die verbleibenden 20 Artikel, die nach 2011 veröffentlicht wurden, wurden in diesen Scoping Review einbezogen.

In diesem Stadium wurde auch eine Trennung nach Frequenzbereich vorgenommen: Von den 20 einbezogenen Artikeln berichteten alle 20 über Expositionen, die zu dem in FR1 betrachteten Frequenzbereich gehören, und einer berichtete auch über Expositionen in Bezug auf FR2, insbesondere MMW aus beruflicher Exposition gegenüber Radar.

Für jeden Artikel wird eine Zusammenfassung präsentiert, zusammen mit einer Tabelle, die die wichtigsten Informationen zusammenfasst; darüber hinaus bewertete ein leitender Sachverständiger die Eignung der Artikel für die Bewertung karzinogener Wirkungen (angemessen/unangemessen) und gab eine Gesamtsynthese der Ergebnisse (positiv/negativ/nicht eindeutig) gemäß den im Abschnitt Methodik beschriebenen Kriterien.

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

Figure 9 - Flow diagram. Epidemiological studies on cancer (FR1)



SCHLÜSSELREFERENZ: IARC 2013

Die IARC-Monographie 102 (IARC, 2013) ist die wichtigste Referenz für die vorliegende Bewertung. Im Mai 2011, nach einem Jahr der Vorbereitung und Überprüfung von Entwürfen, trafen sich 30 Wissenschaftler aus 14 Ländern bei der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) in Lyon, Frankreich, um die Karzinogenität von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) zu bewerten. Diese Bewertung wurde als Band 102 der IARC-Monografien veröffentlicht (IARC, 2013). Epidemiologische Belege für einen Zusammenhang zwischen HF-EMF und Krebs stammen aus Kohorten-, Fall-Kontroll- und Zeittrendstudien. Die Populationen in diesen Studien waren HF-EMF am Arbeitsplatz durch Quellen aus der allgemeinen Umwelt und durch die Nutzung drahtloser (mobiler und schnurloser) Telefone ausgesetzt, was die umfassendste 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 Mobiltelefonen und Gliomen bewertet.

Obwohl sowohl die INTERPHONE-Studie als auch die schwedische gepoolte Analyse anfällig für Verzerrungen sind – aufgrund von Erinnerungsfehlern und der Auswahl für die Teilnahme – kam die Arbeitsgruppe zu dem Schluss, dass die Ergebnisse nicht allein als Ausdruck von Verzerrungen abgetan werden können und dass eine kausale Interpretation zwischen der HF-EMF-Exposition durch Mobiltelefone und Gliomen möglich ist. Eine ähnliche Schlussfolgerung wurde für Akustikusneurinome gezogen, obwohl die Fallzahlen wesentlich geringer waren als bei Gliomen. Darüber hinaus fand eine Studie aus Japan (Sato et al., 2011) einige Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für Akustikusneurinome im Zusammenhang mit ipsilateraler Mobiltelefonnutzung.

Für Meningeome, Ohrspeicheldrüsentumore, Leukämie, Lymphome und andere Tumorarten hielt die Arbeitsgruppe die verfügbaren Daten für unzureichend, um eine Schlussfolgerung über den möglichen Zusammenhang mit der Mobiltelefonnutzung zu ziehen. Epidemiologische Studien an Personen mit potenzieller beruflicher Exposition gegenüber HF-EMF haben Hirntumore, Leukämie, Lymphome und andere Arten von bösartigen Tumoren einschließlich Aderhautmelanom sowie Hoden-, Brust-, Lungen- und Hautkrebs untersucht. Die Arbeitsgruppe stellte fest, dass die Studien methodische Einschränkungen aufwiesen und die Ergebnisse uneinheitlich waren. Die Arbeitsgruppe kam zu dem Schluss, dass es "begrenzte Beweise beim Menschen" für die Karzinogenität von HF-EMF gibt, basierend auf positiven Zusammenhängen zwischen Gliomen und Akustikusneurinomen und der Exposition gegenüber HF-EMF von Mobiltelefonen.

Damals hielten einige Mitglieder der Arbeitsgruppe die derzeitigen Beweise beim Menschen für "unzureichend". Ihrer Meinung nach gab es Unstimmigkeiten zwischen den beiden Fall-Kontroll-Studien und eine fehlende Expositions-Wirkungs-Beziehung in den Ergebnissen der INTERPHONE-Studie; in der dänischen Kohortenstudie wurde kein Anstieg der Gliom- oder Akustikusneurinom-Raten festgestellt (Shuz et al., 2006) und bis zu diesem Zeitpunkt hatten die gemeldeten Zeittrends bei den Gliom-Inzidenzraten keine Parallele zu den Zeittrends bei der Mobiltelefonnutzung gezeigt (Baan et al., 2011).

ÜBERPRÜFUNG DER EPIDEMIOLOGISCHEN STUDIEN 2011-2020

Ausgehend von 2011 werden in der vorliegenden Übersichtsarbeit die ebenfalls in den Tabellen 1- 4 zusammengefassten epidemiologischen Studien nach Art der Studie und nach Jahr der Veröffentlichung (2011-2020) ausgewertet. Die Autorin fügt den kurzen Zusammenfassungen ihre eigenen kurzen Kommentare zu den Ergebnissen der verschiedenen Studien hinzu.

FALLKONTROLLSTUDIEN (Tabellen 1, a-m)

1. Aydin et al. (2011).

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

Untersucht wird der Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und dem Hirntumorrisiko bei Kindern und Heranwachsenden. CEFALO ist eine multizentrische Fall-Kontroll-Studie, die in Dänemark, Schweden, Norwegen und der Schweiz durchgeführt wurde und alle Kinder und Jugendlichen im Alter von 7-19 Jahren einschloß, bei denen zwischen 2004 und 2008 ein Hirntumor diagnostiziert wurde. Persönliche Interviews mit 352 Fallpatienten (Teilnahmequote: 83 %) und 646 Kontrollpersonen (Teilnahmequote: 71 %) sowie deren Eltern.

Die Kontrollpersonen wurden nach dem Zufallsprinzip aus Bevölkerungsregistern ausgewählt und nach Alter, Geschlecht und geografischer Region gematcht. Wir fragten nach der Nutzung von Mobiltelefonen und schlossen, sofern verfügbar, Aufzeichnungen von Mobilfunkbetreibern ein. Die Odds Ratios (ORs) für das Hirntumorrisiko und die 95%-Konfidenzintervalle (CIs) wurden mit Hilfe von konditionalen logistischen Regressionsmodellen berechnet. Bei regelmäßigen Nutzern von Mobiltelefonen war die Wahrscheinlichkeit, an einem Hirntumor zu erkranken, im Vergleich zu Nichtnutzern nicht statistisch signifikant erhöht (OR = 1,36; 95% CI = 0,92 bis 2,02). Kinder, die vor mindestens 5 Jahren mit der Nutzung von Mobiltelefonen begonnen hatten, hatten kein erhöhtes Risiko im Vergleich zu Kindern, die nie regelmäßig Mobiltelefone genutzt hatten (OR = 1,26, 95% CI = 0,70 bis 2,28). Bei einer Untergruppe von Studienteilnehmern, für die vom Betreiber aufgezeichnete Daten vorlagen, hing das Hirntumorrisiko mit der Zeit seit Beginn des Handy-Vertragsabschlusses zusammen, nicht aber mit dem Umfang der Nutzung. Für die Hirnregionen mit der höchsten Exposition wurde kein erhöhtes Hirntumorrisiko beobachtet. Das Fehlen einer Expositions-Wirkungs-Beziehung, weder in Bezug auf die Menge der Mobiltelefon-Nutzung noch auf die Lokalisierung des Hirntumors, spricht gegen einen kausalen Zusammenhang.

Anmerkung: Das Ausmaß der Exposition wurde nicht bewertet. Die Studie war statistisch nicht ausreichend, um kleine Risikoerhöhungen zu entdecken. Mehrere RR (relative risk) waren in der höchsten Expositions-kategorie erhöht, wenn auch nicht statistisch signifikant.

2. Atzmon et al., 2012.

Israel, Diagnose zwischen 1989 und 2007. Bevölkerungsbasierte Fall-Kontroll-Studie.

Die Studie wurde initiiert, um die Behauptungen der Bewohner des drusischen Dorfes Isifya im Norden Israels zu überprüfen, dass ihre hohen Krebsraten mit der früheren Exposition gegenüber Strahlung von Radio- und Mobilfunksendern zusammenhängen. Um den Zusammenhang zwischen früherer Exposition gegenüber HF/MW-Sendern und Krebsrisiken zu untersuchen, wurden die familiäre Krebsvorgeschichte und berufliche Expositionen sowie Indikatoren des Lebensstils berücksichtigt; an einer bevölkerungsbasierten Fall-Kontroll-Studie nahmen 307 Bewohner teil, von denen 47 zwischen 1989 und 2007 mit verschiedenen Krebsarten diagnostiziert wurden, sowie 260 Kontrollen. Die Krebsdiagnosen wurden den Krankenakten entnommen. Der Expositionsstatus der einzelnen Häuser wurde anhand einer Karte ermittelt, die auf den Entfernungen zwischen den einzelnen Häusern und HF/MW-Antennen basierte und mit Hilfe geografischer Informationssysteme (GIS) berechnet wurde. Daten über zusätzliche Risikofaktoren für Krebs, wie Rauchen und Beruf, wurden aus individuellen Fragebögen gewonnen. Die Analyse wurde nach Maßgabe des Lebensstils und der beruflichen Exposition bereinigt, und es wurden binäre mehrfache logistische Regressionen für alle Krebsarten und für einzelne Krebsarten bei den Krebsarten mit mindestens fünf dokumentierten Fällen verwendet. Eine frühere berufliche Exposition gegenüber Chemikalien (z. B. Pestizide) und Elektronik wurde stark mit einem erhöhten Krebsrisiko in Verbindung gebracht (alle Standorte: OR=2,79; CI=1,14-6,82; P<0,05), aber kein erkennbarer Trend im Gesamtkrebsrisiko wurde mit der Nähe zu Quellen früherer HF/MW-Strahlenexposition in Verbindung gebracht (n=47 OR=1,00; CI=0,99-1,02; P>0,4). Darmkrebs zeigte ein vernachlässigbar erhöhtes bereinigtes Risiko in Verbindung mit der Strahlungsintensität (n=11 OR=1,03; CI=1,01-1,05; P<0,01). Es gab Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für Krebsarten, die mit Chemikalien in der Produktion und Landwirtschaft sowie mit Elektronik in Verbindung gebracht wurden, wo es möglicherweise eine Exposition gegenüber EMF gab, aber die Studie bestätigte nicht den Verdacht auf ein erhöhtes Krebsrisiko im Zusammenhang mit Strahlung für die meisten Krebsarten in diesem Dorf. Eine Fehlklassifizierung früherer Expositionen könnte das negative Ergebnis erklären.

Anmerkung: Es wurde keine geeignete Messung der HF-Strahlung durchgeführt. Die Ergebnisse sind nicht schlüssig.

3. Li et al., 2012.

Taiwan, 1998-2007. Bevölkerungsbasierte Fall-Kontroll-Studie (Neoplasmen im Kindesalter).

In dieser bevölkerungsbasierten Fall-Kontroll-Studie in Taiwan wurden Fälle im Alter von 15 Jahren oder weniger berücksichtigt, die zwischen 2003 und 2007 wegen aller Neubildungen (ICD-9-CM: 140-239) aufgenommen wurden (n=2606), darunter 939 Fälle von Leukämie und 394 Fälle von Gehirnneoplasmen. Die Kontrollen wurden nach dem Zufallsprinzip mit einem Fall/Kontroll-Verhältnis von 1:30 aus allen Kindern ausgewählt, die im selben Jahr geboren wurden, und nicht an Neoplasie erkrankt waren, in dem Jahr als der Indexfall eintrat.

Die jährliche zusammengefasste Leistung (ASP) annual summarized power, Watt-Jahr) wurde für jede der 71.185 Mobilfunk-Basisstationen (MPBS, mobil phone base station) berechnet, die zwischen 1998 und 2007 in Betrieb waren. Anschließend wurde die jährliche Leistungsdichte (annual power density (APD), Watt-Jahr/km²) jeder Gemeinde (n=367) als Verhältnis zwischen der gesamten jährlichen zusammengefassten Leistung (ASP) aller Mobilfunk-Basisstationen (MPBS) in einer Gemeinde und der Fläche der jeweiligen Gemeinde berechnet. Die Exposition jedes Studienteilnehmers gegenüber Hochfrequenz (HF) wurde durch die gemittelte APD innerhalb von 5 Jahren vor der Neoplasma-Diagnose (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 (unconditional) logistisches Regressionsmodell mit einer verallgemeinerten Schätzgleichung wurde verwendet, um die kovariatenbereinigte Odds Ratio [AOR] von Neoplasmen im Kindesalter in Bezug auf die HF-Exposition zu berechnen. Ein über dem Median liegender durchschnittlicher APD (etwa 168 Watt-Jahr/km²) war signifikant mit einem erhöhten AOR für alle Neoplasmen (1,13; 1,01 bis 1,28) verbunden, nicht jedoch für Leukämie (1,23; 0,99 bis 1,52) oder Hirneoplasmen (1,14, 0,83 bis 1,55). In dieser Studie wurde ein signifikant erhöhtes Risiko für alle Neoplasmen bei Kindern mit einer über dem Mittelwert liegenden HF-Exposition gegenüber Mobilfunk-Basisstationen festgestellt. Ein leicht erhöhtes Risiko wurde für Leukämie und Hirneoplasma festgestellt, war aber statistisch nicht signifikant. Diese Ergebnisse sind möglicherweise auf mehrere methodische Einschränkungen zurückzuführen.

Kommentar: Die Autoren räumen mehrere methodische Einschränkungen ein. Nicht schlüssige Studie.

4. Soderqvist et al., 2012.

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

Ziel dieser Fall-Kontroll-Studie war es, festzustellen, ob die Nutzung von Mobiltelefonen mit einem erhöhten Tumorriskiko an dieser Stelle verbunden ist. 69 Patienten mit Speicheldrüsentumoren (63 mit einem Ohrspeicheldrüsentumor) und 262 zufällig rekrutierte Kontrollpersonen wurden einbezogen. Mittels unbedingter logistischer Regression - bereinigt um Alter bei der Diagnose, Geschlecht, Jahr der Diagnose und sozioökonomischen Index - wurden Odds Ratios und 95 %-Konfidenzintervalle ermittelt. Die Nutzung von Mobiltelefonen war nicht mit einem erhöhten Gesamtrisiko für Speicheldrüsentumore verbunden (Odds Ratio 0,8, 95 %-Konfidenzintervall 0,4-1,5). Weder gab es ein erhöhtes Risiko für die verschiedenen Telefontypen, wenn sie separat 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 h). Die Gesamtergebnisse für das Risiko von Ohrspeicheldrüsentumoren waren ähnlich. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass unsere Daten die Beweise gegen ein erhöhtes Risiko für Ohrspeicheldrüsentumore bei leichter bis mäßiger Nutzung von Mobiltelefonen und bei einer Nutzungsdauer von weniger als 10 Jahren ergänzen, aber kaum Informationen über das Risiko bei längerer und/oder intensiverer Nutzung liefern.

Anmerkung: Selbstberichtete Exposition aus postalischem Fragebogen. Zusammenhang zwischen Ohrspeicheldrüsentumoren und leichter bis mäßiger Nutzung von Mobiltelefonen.

5. Carlberg et al., 2013.

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

Der Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und Meningeomen wird untersucht. Es wurde eine Fall-Kontroll-Studie an Hirntumorfällen beider Geschlechter im Alter von 18-75 Jahren durchgeführt, die in den Jahren 2007-2009 diagnostiziert wurden. Jedem Fall wurde eine bevölkerungsbasierte Kontrollgruppe zugeordnet, die nach Geschlecht und Alter gematcht wurde. Hier berichten wir über Meningeom-Fälle einschließlich aller verfügbaren Kontrollen. Die Exposition wurde anhand eines Fragebogens ermittelt. Es wurde eine unbedingte logistische Regressionsanalyse durchgeführt. Insgesamt beantworteten 709 Meningeom-Fälle und 1 368 Kontrollpersonen den Fragebogen. Die Nutzung von Mobiltelefonen insgesamt ergab eine Odds Ratio (OR) = 1,0, 95%-Konfidenzintervall (CI) = 0,7-1,4, und die Nutzung von Schnurlostelefonen ergab OR = 1,1, 95% CI = 0,8-1,5. Das Risiko stieg statistisch signifikant pro 100 Stunden kumulativer Nutzung an, und die höchste OR wurde im vierten Quartil (>2.376 Stunden) der kumulativen Nutzung für alle untersuchten Telefontypen gefunden. Es gab kein statistisch signifikant erhöhtes Risiko für die ipsilaterale Nutzung von Mobil- oder Schnurlostelefonen, für Meningeome im Schläfenlappen oder pro Jahr Latenzzeit. Das Tumolvolumen stand nicht im Zusammenhang mit der Latenzzeit oder der kumulativen Nutzung von schnurlosen Telefonen in Stunden. Es wurde kein schlüssiger Beweis für einen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen und Meningeomen gefunden. Ein Hinweis auf ein erhöhtes Risiko wurde in der Gruppe mit der höchsten kumulativen Nutzung gesehen, wurde aber nicht durch ein statistisch signifikant steigendes Risiko mit der Latenzzeit unterstützt. Ergebnisse für noch längere Latenzzeiten bei der Nutzung drahtloser Telefone als in dieser Studie sind wünschenswert.

Kommentar: Selbstberichtete Exposition. Es wurde kein schlüssiger Zusammenhang für Meningeome und die Nutzung von Mobiltelefonen gefunden.

6. Hardell et al., 2013a.

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

Frühere Studien haben einen konsistenten Zusammenhang zwischen der Langzeitnutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen und Gliomen und Akustikusneurinomen gezeigt, jedoch nicht für Meningeome. Ziel dieser Studie war es, den Zusammenhang zwischen der besonders langfristigen (>10 Jahre) Nutzung von Mobiltelefonen und der Entwicklung von bösartigen Hirntumoren weiter zu untersuchen. Es wurde eine neue Fall-Kontroll-Studie mit Hirntumorfällen beider Geschlechter im Alter von 18-75 Jahren durchgeführt, die zwischen 2007-2009 diagnostiziert wurden. Für jeden Fall wurde (innerhalb von 5 Jahren) eine nach Geschlecht und Alter abgestimmte bevölkerungsbasierte Kontrolle verwendet. Es wird über bösartige Fälle einschließlich aller verfügbaren Kontrollen berichtet. Die Exposition, z. B. durch die Nutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen, wurde anhand eines selbst ausgefüllten Fragebogens ermittelt. Unter Verwendung der gesamten Kontrollstichprobe wurde eine unbedingte logistische Regressionsanalyse durchgeführt, bei der Alter, Geschlecht, Jahr der Diagnose und sozioökonomischer Index berücksichtigt wurden. Von den Fällen mit einem bösartigen Hirntumor nahmen 87 % (n=593) teil, und 85 % (n=1.368) der Kontrollen in der gesamten Studie beantworteten den Fragebogen. Die Odds Ratio (OR) für die analoge Mobiltelefonnutzung betrug 1,8, 95% Konfidenzintervall (CI)=1,04-3,3, und stieg mit einer Latenzzeit von >25 Jahren (Zeit seit der ersten Exposition) auf eine OR=3,3, 95% CI=1,6-6,9. Die Nutzung digitaler 2G-Mobiltelefone ergab eine OR=1,6, 95% CI=0,996-2,7, das mit einer Latenzzeit von >15-20 Jahren auf eine OR=2,1, 95% CI=1,2-3,6 anstieg. Die Ergebnisse für die Nutzung von Schnurlostelefonen ergaben eine OR=1,7, 95% CI=1,1-2,9, und für eine Latenzzeit von 15-20 Jahren eine OR=2,1, 95% CI=1,2-3,8. Nur wenige Teilnehmer hatten ein Schnurlostelefon seit mehr als 20-25 Jahren benutzt. Bei digitalen schnurlosen Telefonen (2G- und 3G-Mobiltelefone, Schnurlostelefone) war das Risiko bei einer Latenzzeit von >1-5 Jahren erhöht, in den folgenden Latenzgruppen war das Risiko dann geringer, bei einer Latenzzeit von >15-20 Jahren stieg es jedoch wieder an. Eine ipsilaterale Nutzung führte zu einem höheren Risiko als eine kontralaterale Nutzung von Mobiltelefonen und Schnurlostelefonen. Höhere ORs wurden für Tumore in den Temporal- und Überlappungslappen berechnet. Die Verwendung der Meningeom-Fälle in derselben Studie als Referenzeinheit ergab etwas höhere ORs, was darauf hindeutet, dass die Ergebnisse wahrscheinlich nicht durch Erinnerungs- oder Beobachtungsverzerrungen erklärt werden können. Diese Ergebnisse unterstützen die Hypothese, dass HF-EMF sowohl in der Initiations- als auch in der Promotionsphase der Karzinogenese eine Rolle spielen.

Anmerkung: Selbstberichtete Exposition. Diese Studie bestätigt frühere Ergebnisse eines Zusammenhangs zwischen starker Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen 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 zuvor von den Autoren durchgeführt. Eingeschlossen wurden Probanden beider Geschlechter im Alter von 20 bis 80 Jahren, die zwischen 1997 und 2003 in Teilen Schwedens mit einem Akustikusneurinom diagnostiziert wurden, und die Ergebnisse wurden veröffentlicht. Für den Zeitraum 2007-2009 wurde eine weitere Studie durchgeführt, in die sowohl Männer als auch Frauen im Alter von 18-75 Jahren aus dem gesamten Land einbezogen wurden. Für beide Studienzeiträume wurden ähnliche Methoden verwendet. In jeder Studie wurde eine bevölkerungsbasierte Kontrollgruppe, die hinsichtlich Geschlecht und Alter (innerhalb von fünf Jahren) übereinstimmte, aus dem schwedischen Bevölkerungsregister ermittelt. Die Exposition wurde anhand eines selbst ausgefüllten Fragebogens ermittelt, der durch ein Telefoninterview ergänzt wurde. Da die Zahl der Akustikusneurinom-Fälle in der neuen Studie gering war, wurden gepoolte Ergebnisse aus beiden Studienzeiträumen auf der Grundlage von 316 teilnehmenden Fällen und 3.530 Kontrollen vorgelegt. Es wurde eine unbedingte logistische Regressionsanalyse durchgeführt, bei der Alter, Geschlecht, Jahr der Diagnose und sozioökonomischer Index (SEI) berücksichtigt wurden. Die Nutzung von analogen Mobiltelefonen ergab eine Odds Ratio (OR) = 2,9, 95% Konfidenzintervall (CI) = 2,0-4,3, die mit einer Latenzzeit von >20 Jahren (Zeit seit der ersten Exposition) auf OR = 7,7, 95% CI = 2,8-21 anstieg. Die Nutzung digitaler 2G-Mobiltelefone ergab eine OR = 1,5, 95% CI = 1,1-2,1, mit einer Latenzzeit >15 Jahre ansteigend auf OR = 1,8, 95% CI = 0,8-4,2. Die Ergebnisse für die Nutzung von Schnurlostelefonen lauteten OR = 1,5, 95% CI = 1,1-2,1, und für eine Latenzzeit von >20 Jahren OR = 6,5, 95% CI = 1,7-26. Für schnurlose Telefone des digitalen Typs (2G- und 3G-Mobiltelefone und Schnurlostelefone) ergab sich eine OR = 1,5, 95% CI = 1,1-2,0, und bei einer Latenzzeit von >20 Jahren stieg der Wert auf OR = 8,1, 95% CI = 2,0-32. Für die gesamte schnurlose Telefonnutzung wurde das höchste Risiko für die längste Latenzzeit >20 Jahre berechnet: OR = 4,4, 95% CI = 2,2-9,0. Mehrere der Berechnungen für die lange Latenzzeitkategorie basierten auf einer geringen Anzahl von

exponierten Fällen. Sowohl bei Mobiltelefonen als auch bei Schnurlostelefonen führte die ipsilaterale Nutzung zu einem höheren Risiko als die kontralaterale. Die OR stieg pro 100 Stunden kumulativer Nutzung und pro Jahr der Latenz für Mobiltelefone und Schnurlostelefone an, obwohl der Anstieg für Schnurlostelefone statistisch nicht signifikant war. Der prozentuale Anteil des Tumolvolumens nahm pro Latenzjahr und pro 100 Stunden kumulativer Nutzung zu, wobei dieser Anstieg bei analogen Telefonen statistisch signifikant war. Diese Studie bestätigte frühere Ergebnisse, die einen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen und Akustikusneurinomen zeigten.

Es wurde eine gepoolte Analyse von zwei Fall-Kontroll-Studien zu bösartigen Hirntumoren mit Patienten durchgeführt, die zwischen 1997-2003 und 2007-2009 diagnostiziert wurden. Sie waren zum Zeitpunkt der Diagnose zwischen 20-80 Jahre bzw. zwischen 18-75 Jahre alt. Es wurden nur Fälle mit histopathologischem Nachweis des Tumors einbezogen. Es wurden alters- und geschlechtsgleiche bevölkerungsbezogene Kontrollen verwendet. Die gesamte Referenzgruppe wurde in der unbedingten Regressionsanalyse verwendet, die für Geschlecht, Alter, Diagnosejahr und sozioökonomischen Index angepasst wurde. Insgesamt nahmen 1498 (89 %) Fälle und 3530 (87 %) Kontrollen teil. Die Nutzung von Mobiltelefonen erhöhte das Risiko für Gliome, OR = 1,3, 95%CI = 1,1-1,6 insgesamt, und stieg auf OR = 3,0, 95% CI = 1,7-5,2 in der Gruppe mit einer Latenzzeit von >25 Jahren. Die Verwendung von Schnurlostelefonen erhöhte das Risiko auf OR = 1,4, 95% CI = 1,1-1,7, mit dem höchsten Risiko in der Gruppe mit einer Latenzzeit von >15-20 Jahren, die eine OR = 1,7, 95% CI = 1,1-2,5 ergab. Die OR stieg sowohl pro 100 Stunden kumulativer Nutzung als auch pro Jahr Latenzzeit für die Nutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen statistisch signifikant an. Die höchsten ORs wurden für die ipsilaterale Nutzung von Mobiltelefonen oder Schnurlostelefonen gefunden, OR = 1,8, 95% CI = 1,4-2,2 bzw. OR = 1,7, 95% CI = 1,3-2,1. Das höchste Risiko wurde für Gliome im Temporallappen festgestellt. Die erstmalige Nutzung eines Mobil- oder Schnurlostelefons vor dem Alter von 20 Jahren führte zu einer höheren OR für Gliome als in späteren Altersgruppen.

Kommentar: Diese Studien bestätigen frühere Ergebnisse, die einen Zusammenhang zwischen starker Nutzung von Mobiltelefonen und Schnurlostelefonen mit Akustikusneurinomen und Gliomen zeigen.

8. Coureau et al., 2014.

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

Ziel war es, den Zusammenhang zwischen Mobiltelefon-Exposition und primären Tumoren des Zentralnervensystems (Gliome und Meningeome) bei Erwachsenen zu analysieren. CERENAT ist eine multizentrische Fall-Kontroll-Studie, die in den Jahren 2004-2006 in vier Regionen Frankreichs durchgeführt wurde. Die Daten über die Nutzung von Mobiltelefonen wurden mittels eines detaillierten Fragebogens erhoben, der im persönlichen Gespräch ausgefüllt wurde. Zur Schätzung der bereinigten ORs und 95 % CIs wurde die bedingte logistische Regression für gematchte Gruppen verwendet. Insgesamt wurden 253 Gliome, 194 Meningeome und 892 gematchte Kontrollen aus den lokalen Wählerverzeichnissen analysiert. Beim Vergleich zwischen regelmäßigen Mobiltelefonnutzern und Nichtnutzern wurde kein Zusammenhang mit Hirntumoren festgestellt (OR=1,24; 95% CI 0,86 bis 1,77 für Gliome, OR=0,90; 95% CI 0,61 bis 1,34 für Meningeome). Der positive Zusammenhang war jedoch bei den stärksten Nutzern statistisch signifikant, wenn man die lebenslange kumulative Dauer (≥ 896 h, OR=2,89; 95% CI 1,41 bis 5,93 für Gliome; OR=2,57; 95% CI 1,02 bis 6,44 für Meningeome) und die Anzahl der Anrufe (≥ 18.360 Anrufe, OR=2,10, 95% CI 1,03 bis 4,31 für Gliome) berücksichtigte. Das Risiko war bei Gliomen, temporalen Tumoren, beruflicher und städtischer Handynutzung höher. Diese zusätzlichen Daten untermauern frühere Erkenntnisse über einen möglichen Zusammenhang zwischen starker Handynutzung und Hirntumoren.

Kommentar: Diese Studie bestätigt frühere Ergebnisse über einen möglichen Zusammenhang zwischen starker Handynutzung und bösartigen Hirntumoren.

9. Pettersson et al., 2014.

Schweden, 2002-2007. Bevölkerungsbasierte Fall-Kontroll-Studie.

Es wurde eine bevölkerungsbezogene, landesweite Fall-Kontroll-Studie über Akustikusneurinome in Schweden durchgeführt. Als Fälle kamen Personen im Alter von 20 bis 69 Jahren in Frage, bei denen zwischen 2002 und 2007 eine Diagnose gestellt wurde. Die Kontrollpersonen wurden nach dem Zufallsprinzip aus dem Bevölkerungsregister ausgewählt und nach Alter, Geschlecht und Wohngegend gematcht. Postalische Fragebögen wurden von 451 Fällen (83 %) und 710 Kontrollen (65 %) ausgefüllt. Die regelmäßige Nutzung von Mobiltelefonen (definiert als wöchentliche Nutzung über mindestens 6 Monate) ergab eine Odds Ratio (OR) von 1,18 (95% Konfidenzintervall = 0,88 bis 1,59).

Der Zusammenhang war schwächer für die längste Induktionszeit (≥ 10 Jahre) (1,11 [0,76 bis 1,61]) und bei der regelmäßigen Anwendung auf der Tumorseite (0,98 [0,68 bis 1,43]). Die OR für das höchste Quartil der kumulativen Anrufzeit (≥ 680 Stunden) betrug 1,46 (0,98 bis 2,17). Die Einschränkung der Analysen auf histologisch bestätigte Fälle reduzierte alle ORs; die OR für ≥ 680 Stunden betrug 1,14 (0,63 bis 2,07). Ein ähnliches Muster zeigte sich für schnurlose Festnetztelefone, allerdings mit etwas höheren ORs. Bei der Analyse der vollständigen Nachverfolgung der Lateralität (einseitigen Bevorzugung einer Körperseite) bei der Nutzung des Mobiltelefons ergaben sich erhebliche Verzerrungen in den Lateralitätsanalysen. Die Ergebnisse stützen nicht die Hypothese, dass die langfristige Nutzung von Mobiltelefonen das Risiko für ein Akustikusneurinom erhöht. Die Studie deutet darauf hin, dass die Handynutzung die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass ein Akustikusneurinom entdeckt wird, und dass die in früheren Studien durchgeführten Lateralitätsanalysen verzerrt sein könnten.

Kommentar: Selbstberichtete Exposition. Schwacher Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen starker Handynutzung und Akustikusneurinom.

10. Yoon et al., 2015.

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

Die Studienmethoden basierten auf der internationalen Interphone-Studie, die darauf abzielte, mögliche schädliche Auswirkungen der Mobiltelefonnutzung zu bewerten. Diese Studie umfasste 285 histologisch bestätigte koreanische Patienten im Alter von 15 bis 69 Jahren mit Gliomen, die zwischen 2002 und 2007 in 9 Krankenhäusern diagnostiziert wurden. Bei den 285 individuell angepassten Kontrollen handelte es sich um gesunde Personen, die sich in denselben Krankenhäusern ärztlich untersuchen ließen. Mittels unbedingter logistischer Regression wurden die bereinigten Odds Ratios (aORs) und 95 %-Konfidenzintervalle (CIs) für die Nutzung von Mobiltelefonen berechnet. Für die gesamte Gruppe wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen Gliomen und der regelmäßigen Nutzung von Mobiltelefonen, der Art der Mobiltelefone, der Nutzungsdauer in Jahren, der monatlichen Servicegebühr und den anderen Expositionsindizes festgestellt. Analysen, die sich auf die Selbstauskunft der Personen beschränkten, zeigten ähnliche Ergebnisse. Bei ipsilateralen Nutzern, deren Körperseite für die übliche Handynutzung mit dem Ort des Glioms übereinstimmte, betrug die aORs (95% CIs) für die jahrelange Nutzung 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 für Gliome erhöht; wir fanden jedoch einen nicht signifikanten Anstieg des Risikos bei ipsilateralen Nutzern. Diese Ergebnisse legen eine weitere Bewertung des Gliomrisikos bei Langzeit-Nutzern nahe.

Kommentar: Selbstberichtete Exposition. Schwache Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Mobiltelefon-Nutzung und Hirntumor finden sich bei ipsilateralen Nutzern.

11. Al-Qahtani, 2016.

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

Insgesamt 26 Patienten, bei denen ein Ohrspeicheldrüsentumor diagnostiziert wurde, und 61 gesunde Kontrollpersonen wurden in eine krankenhausbasierte retrospektive Fall-Kontroll-Studie aufgenommen. Die Patienten wurden zwischen Januar 1996 und März 2013 an ein Tertiärkrankenhaus überwiesen und dort aufgenommen. Die Odds der Exposition waren bei den Patienten im Vergleich zu den Kontrollen 3,47-mal höher. Ein 95%iger CI deutet darauf hin, dass die tatsächliche Odds Ratio (OR) auf Bevölkerungsebene zwischen 1,3 und 9,23 liegen könnte, so dass die beobachtete OR bei einem Signifikanzniveau von 5% statistisch signifikant war. Insgesamt wurde ein Zusammenhang zwischen der Exposition durch die Nutzung von Mobiltelefonen für mehr als eine Stunde täglich und Ohrspeicheldrüsentumoren festgestellt. Dieser Zusammenhang sollte aufgrund der relativ kleinen Stichprobengröße mit Vorsicht interpretiert werden.

Kommentar: Kleine Stichprobengröße; schlechte Methodik. Nicht schlüssige Studie.

12. Satta et al. (2018).

Italien; 1998-2004; Bevölkerungsbasierte Fall-Kontroll-Studie als Teil der europäischen Multicenterstudie EPI-LYMPH.

Eine Fall-Kontroll-Studie mit 322 Patienten und 444 Personen, die als Kontrollen dienten, wurde in Sardinien, Italien, zwischen 1998-2004 durchgeführt. Der Fragebogen enthielt Informationen über die selbst angegebene Entfernung der drei am längsten bewohnten

Wohnadressen zu ortsfesten Rundfunksendeanlagen und Mobiltelefon-Basisstationen. 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 Haustür in der Untergruppe der am längsten bewohnten Adressen innerhalb eines 250-Meter-Radius durchgeführt. Das Risiko für Lymphome und ihre wichtigsten Subtypen in Verbindung mit den HF-EMF-Expositionsmetriken wurde mit einer unbedingten logistischen Regression unter Berücksichtigung von Alter, Geschlecht und Bildungsabschluss ermittelt. Das Risiko, welches im Zusammenhang mit einem Wohnsitz in der Nähe (innerhalb von 50 Metern) von ortsfesten Rundfunksendeanlagen steht, war ebenfalls für Lymphome insgesamt [Odds Ratio = 2,7, 95% Konfidenzintervall = 1,5-4,6] und für die wichtigsten Lymphom-Subtypen erhöht. In Bezug auf Mobilfunk-Basisstationen beobachteten die Autoren weder einen Zusammenhang mit der selbst angegebenen noch mit der geocodierten Entfernung zu Mobilfunk-Basisstationen. Die HF-EMF-Messungen unterschieden sich nicht nach Fall-Kontroll-Status. Beim Vergleich der Selbsteinschätzung der Entfernung mit den geocodierten Daten neigten die Fälle dazu, die Entfernung zu Mobilfunk-Basisstationen im Vergleich zu den Kontrollen zu unterschätzen ($P = 0,073$). Die Interpretation der Ergebnisse wird durch die begrenzte Größe der Studie, insbesondere bei der Analyse der einzelnen Lymphom-Subtypen, und durch die Nichtverfügbarkeit der räumlichen Koordinaten der Rundfunksendeanlagen beeinträchtigt. Nichtsdestotrotz unterstützen unsere Ergebnisse nicht die Hypothese eines Zusammenhangs zwischen der Umweltexposition durch HF-EMF von Mobilfunk-Basisstationen und dem Risiko für Lymphom-Subtypen.

Kommentar: Begrenzte Studiengröße, Expositionsabschätzung unklar (Fernfeld, Funk-Basisstationen). Die Studie unterstützt nicht die Hypothese eines Zusammenhangs zwischen der Umweltexposition durch HF-EMF von Mobilfunk-Basisstationen und dem Risiko für Lymphom-Subtypen.

13. Balekouzou et al. (2017).

Zentralafrika. Fall-Kontroll-Studie.

Brustkrebs ist in Entwicklungsländern ein anerkanntes Problem der öffentlichen Gesundheit; es gibt jedoch nur sehr wenige Hinweise auf Verhaltensfaktoren, die mit dem Brustkrebsrisiko in Verbindung stehen. Diese Studie wurde durchgeführt, um Lebensstile als Risikofaktoren für Brustkrebs bei zentralafrikanischen Frauen zu identifizieren. Es wurde eine Fall-Kontroll-Studie mit 174 Fällen, die von der Pathologieabteilung des Nationalen Labors histologisch bestätigt wurden, und mit 348 altersgleichen Kontrollen durchgeführt. Zu den Instrumenten der Datenerhebung gehörten ein Fragebogen mit Interviews und Krankenakten der Patientinnen. Die Daten wurden mit der SPSS-Software Version 20 ausgewertet. Odd Ratio (OR) und 95% Konfidenzintervalle (95% CI) wurden durch unbedingte logistische Regression ermittelt. Insgesamt wurden 522 Frauen mit einem Durchschnittsalter von 45,8 (SD = 13,4) Jahren untersucht. Nach dem Modell der unbedingten logistischen Regression waren Frauen mit Brustkrebs mit größerer Wahrscheinlichkeit Analphabetinnen oder hatten einen Grundschulabschluss [11,23 (95% CI, 4,65±27,14) und 2,40 (95% CI, 1,15±4,99)], verheiratete Frauen [2,09 (95% CI, 1,18±3,71)], positive Familienanamnese [2,31 (95% CI, 1,36±3,91)], Strahlenbelastung [8,21 (95% CI, 5,04±13,38)], Konsum von Wurstwaren [10,82 (95% CI, 2,39±48,90)], Frischfischkonsum [4,26 (95% CI, 1,56±11,65)], Erdnusskonsum [6,46 (95% CI, 2,57± 16,27)], Sojabohnenkonsum [16,74 (95% CI, 8,03±39,84)], Alkohol [2,53 (95% CI, 1,39± 4,60)], die Gewohnheit, Geld in BHs aufzubewahren [3,57 (95% CI, 2,24±5,69)], Übergewicht [5,36 (95% CI, 4,46±24,57)] und Fettleibigkeit [3,11(95% CI, 2,39±20,42)]. Ein geringeres Brustkrebsrisiko wurde jedoch mit einer Berufstätigkeit [0,32 (95% CI, 0,19±0,56)], einem städtischen Wohnsitz [0,16 (95% CI, 0,07±0,37)], dem Verzehr von Erdnussöl [0,05 (95% CI, 0,02±0,14)], Weinkonsum [0,16 (95% CI, 0,09±0,26)], die Gewohnheit, das Handy nicht im BH zu tragen [0,56 (95% CI, 0,35±0,89)] und körperliche Aktivität [0,71(95% CI, 0,14±0,84)]. Die Studie zeigte, dass geringe oder keine Bildung, Heirat, eine positive Krebsanamnese in der Familie, Strahlenbelastung, Wurstwaren, frischer Fisch, Erdnüsse, Sojabohnen, Alkohol, die Gewohnheit, Geld in BHs aufzubewahren, Übergewicht und Fettleibigkeit mit dem Brustkrebsrisiko zentralafrikanischer Frauen, die in Bangui leben, im Zusammenhang standen. Frauen, die in Bangui leben, sollten vorsichtiger sein, was das mit Brustkrebs assoziierte Verhaltensrisiko angeht.

Anmerkung: Beschränkungen bei der Selbstauskunft der Daten. Viele Störfaktoren. Kein schlüssiges Ergebnis für einen Zusammenhang zwischen dem Tragen von Handys 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 berufsbedingter HF- und ZF(Zwischenfrequenz)-Exposition und dem Hirntumorrisiko (Gliom und Meningeom) in der multinationalen bevölkerungsbezogenen 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 ZF-EMF (insgesamt und in spezifischen Expositionszeitfenstern) wurden den Studienteilnehmern anhand einer Quellen-Expositions-Matrix und detaillierter Interviewdaten über die Arbeit mit oder in der Nähe von EMF-Quellen zugeordnet. Mit Hilfe der bedingten logistischen Regression wurde der Zusammenhang mit dem Gliom- und Meningeomrisiko untersucht. Insgesamt waren etwa 10 % der Studienteilnehmer HF ausgesetzt, während nur 1 % IF-EMF ausgesetzt war. Es gab keine eindeutigen Hinweise auf einen positiven Zusammenhang zwischen HF oder ZF-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 (≥ 90 . Perzentil) für das jüngste Expositionszeitfenster (1-4 Jahre vor der Diagnose oder dem Referenzdatum) sowohl für Gliome (OR = 1,62 (95% Konfidenzintervall (CI): 0,86, 3,01) als auch für Meningeome (OR = 1,52, 95% CI: 0,65, 3,55) erhalten. Trotz des verbesserten Expositionsbewertungsansatzes, der in dieser Studie verwendet wurde, konnten keine eindeutigen Zusammenhänge festgestellt werden. Die Ergebnisse für die kürzliche Exposition gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern deuten jedoch auf eine mögliche Rolle bei der Förderung/Progression von Hirntumoren hin und sollten weiter untersucht werden.

Kommentar: Die Studie deutet auf eine mögliche Rolle bei der Förderung/Progression von Hirntumoren hin.

15. Luo et al. (2019).

USA. 2010-2011. bevölkerungsbasierte Fall-Kontroll-Studie.

Diese Studie zielt darauf ab, den Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Schilddrüsenkrebs zu untersuchen. Eine bevölkerungsbasierte Fall-Kontroll-Studie wurde zwischen 2010 und 2011 in Connecticut durchgeführt und umfasste 462 histologisch bestätigte Schilddrüsenkrebsfälle und 498 bevölkerungsbasierte Kontrollen. Mittels multivariater unbedingter logistischer Regression wurden Odds Ratios (OR) und 95%-Konfidenzintervalle (95% CI) für den Zusammenhang zwischen Handynutzung und Schilddrüsenkrebs geschätzt. Die Nutzung von Mobiltelefonen wurde nicht mit Schilddrüsenkrebs in Verbindung gebracht (OR: 1,05, 95% CI: 0,74-1,48). Ein suggestiver Anstieg des Risikos für Schilddrüsenmikrokarzinome (Tumorgröße ≤ 10 mm) wurde bei Langzeit- und Vielnutzern beobachtet. Im Vergleich zu den Nichtnutzern von Mobiltelefonen wiesen mehrere Gruppen ein nicht statistisch signifikant erhöhtes Risiko für Schilddrüsenmikrokarzinome auf: Personen, die seit mehr als 15 Jahren ein Mobiltelefon nutzten (OR: 1,29, 95% CI: 0,83-2,00), die ein Mobiltelefon mehr als 2 Stunden pro Tag nutzten (OR: 1,40, 95% CI: 0,83-2,35), die die meisten kumulativen Nutzungsstunden (OR: 1,58, 95% CI: 0,98-2,54) und die meisten kumulativen Anrufe (OR: 1,20, 95% CI: 0,78-1,84) aufwiesen. Die kumulative Handynutzung wurde geschätzt, indem die Stunden oder Anrufe pro Tag mit der Nutzungsdauer multipliziert wurden. Jede Variable wurde auf der Grundlage ihrer Verteilung unter den Kontrollen in Terzile eingeteilt. In dieser Studie wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Schilddrüsenkrebs festgestellt. Ein vermutetes erhöhtes Risiko für ein Schilddrüsenmikrokarzinom bei langfristiger und häufigerer Nutzung sollte weiter untersucht werden.

Anmerkung: Selbstberichtete Exposition. Es wurde kein signifikanter Zusammenhang gefunden, aber ein angedeutetes erhöhtes Risiko für Schilddrüsenmikrokarzinome bei Langzeit- und häufigerem Gebrauch.

ÖKOLOGISCHE STUDIEN (Tabelle 2, a)

16. Gonzalez Rubio et al. (2017).

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

Dieses Papier präsentiert die Ergebnisse einer vorläufigen epidemiologischen Studie, die Epidemiologie, Statistik und geografische Informationssysteme (GIS) kombiniert, in der die Korrelation zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF in der Stadt Albacete (166.000 Einwohner, Südostspanien) und der Inzidenz mehrerer Krebsarten mit unspezifischen Ursachen (Lymphome und Hirntumore) analysiert werden. Es wurden statistische Instrumente zur Analyse der räumlichen Punktmuster und zur Aggregation der Daten verwendet, um die räumliche Zufälligkeit zu untersuchen

und die Zonen mit der höchsten Inzidenz von 95 untersuchten Tumoren (65 Lymphome, 12 Gliome und 18 Meningeome) zu bestimmen. Eine Korrelationsstudie (Spearman) zwischen der persönlichen Exposition gegenüber HF-EMF in 14 Frequenzbändern, die von einem Exosimeter EME Spy 140 (Satimo) in den Verwaltungsbezirken der Stadt aufgezeichnet wurde, und der Inzidenz 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 Albacete registrierte Exposition gegenüber HF-EMF kaum mit der Inzidenz der untersuchten Tumore (Gliome ($\rho=0,15$), Meningeome ($\rho=0,19$) und Lymphome ($\rho=-0,03$)) korreliert. Die vorgeschlagene Methodik eröffnet einen unerforschten Analysepfad in diesem Bereich.

Anmerkung: Geringe Korrelation zwischen Umweltexposition gegenüber HF-EMF und Gliomen, Meningeomen und Lymphomen. Expositionsabschätzung nicht klar.

KOHORTENSTUDIEN (Tabellen 3, a-d)

17. Frei et al., 2011.

Dänemark. Handy-Vertragskunden und Nicht-Vertragskunden von Mobiltelefonen vor 1995.

Alle Dänen im Alter von ≥ 30 Jahren, die nach 1925 in Dänemark geboren wurden, unterteilt in Handy-Vertragskunden und Nicht-Handy-Vertragskunden von Mobiltelefonen vor 1995. Wichtigste Ergebnisgrößen Risiko von Tumoren des zentralen Nervensystems, ermittelt aus dem vollständigen dänischen Krebsregister. Geschlechtsspezifische Inzidenzraten, geschätzt mit logarithmischen Poisson-Regressionsmodellen, bereinigt um Alter, Kalenderperiode, Bildungsabschluss und verfügbares Einkommen. Ergebnisse 358.403 Handy-Vertragskunden haben 3,8 Millionen Personenjahre angesammelt. Im Nachbeobachtungszeitraum 1990-2007 gab es 10.729 Fälle von Tumoren des zentralen Nervensystems. Das Risiko für solche Tumore war sowohl bei Männern als auch bei Frauen annähernd gleich hoch. Bei Beschränkung auf Personen mit der längsten Mobiltelefonnutzung, d. h. ≥ 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 mit einem Handy-Vertrag von ≥ 10 Jahren 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 Meningeome. Es gab keinen Hinweis auf eine Dosis-Wirkungs-Beziehung, weder in Bezug auf die Jahre seit des ersten Handy-Vertragsabschlusses für ein Mobiltelefon noch in Bezug auf die anatomische Lage des Tumors, d. h. in den Hirnregionen, die der Stelle am nächsten liegen, an der das Mobiltelefon 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 Tumore des zentralen Nervensystems festgestellt, so dass es kaum Hinweise auf einen kausalen Zusammenhang gibt.

Kommentar: Grenzen der Expositionsabschätzung. Keine erhöhten Risiken für Tumore des zentralen Nervensystems.

18. Benson et al., 2013.

UK. 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 Kohorte des Vereinigten Königreichs, der Million Women Study, untersucht. Mit Hilfe von Cox-Regressionsmodellen wurden die bereinigten relativen Risiken (RRs) und 95 %-Konfidenzintervalle (CIs) geschätzt. Die Frauen berichteten über ihre Mobiltelefonnutzung in den Jahren 1999 bis 2005 und erneut im Jahr 2009. Während der 7-jährigen Nachbeobachtungszeit traten folgende Ergebnisse auf: 51 680 invasive Krebsfälle und 1 261 intrakranielle ZNS-Tumore. Das Risiko für alle intrakraniellen ZNS-Tumore ($RR=1,01$, 95 % $CI=0,90-1,14$, $P=0,82$), für bestimmte ZNS-Tumorarten und für Krebs an 18 anderen spezifizierten Stellen war bei Langzeitnutzerinnen im Vergleich zu Nie-Nutzerinnen von Mobiltelefonen nicht erhöht. Bei Langzeitnutzerinnen im Vergleich zu Nie-Nutzerinnen gab es keinen nennenswerten Zusammenhang für Gliome (10+ Jahre: $RR=1,07$, 95% $CI=0,55-1,10$, $P=0,16$) oder Meningeome (10+ Jahre: $RR=1,10$, 95% $CI=0,66-1,84$, $P=0,71$). Für das Akustikusneurinom stieg das Risiko bei langfristiger Nutzung im Vergleich zu nie erfolgter Nutzung (10+ Jahre: $RR=2,46$, 95% $CI=1,07-5,64$, $P=0,03$), wobei das Risiko mit der Dauer der Nutzung zunahm (Trend unter den Nutzern, $P=0,03$). Schlussfolgerungen in dieser großen prospektiven Studie war, dass die Nutzung von Mobiltelefonen nicht mit einer erhöhten Inzidenz von Gliomen, Meningeomen oder anderen Krebsarten des ZNS verbunden.

Kommentar: Selbsteinschätzung der Exposition. Für Akustikusneurinom gab es einen Anstieg des Risikos bei Langzeitnutzung im Vergleich zu nie erfolgter Nutzung; das Risiko stieg mit der Dauer des Konsums.

19. Poulsen et al., 2013.

Dänemark, 1982-1995, Nachbeobachtung bis 2007. Kohortenstudie: CANULI-Studie über soziale Ungleichheit und Krebsinzidenz und -überleben.

In einer landesweiten Kohortenstudie wurden 355 701 private Mobilfunkteilnehmer in Dänemark von 1987 bis 1995 und einer Nachbeobachtungszeit bis 2007 verfolgt. Wir berechneten die Inzidenzraten (IRR) für Melanome, Basalzellkarzinome und Plattenepithelkarzinome anhand von Poisson-Regressionsmodellen, die für Alter, Kalenderperiode, Bildungsniveau und Einkommen angepasst wurden. Es wurden getrennte IRRs für Kopf-/Halstumore und Rumpf-/Beintumore verglichen (IRR-Ratios), um weitere potenzielle Störfaktoren zu berücksichtigen. Wir beobachteten 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 unverändert. Bei den Männern lag die IRR für Melanome an Kopf und Hals nach einer Nachbeobachtungszeit von mindestens 13 Jahren bei 1,20 (95 % Konfidenzintervall: 0,65, 2,22), während die entsprechende IRR für Rumpf und Beine 1,16 (95 % Konfidenzintervall: 0,91, 1,47) betrug, was ein IRR-Verhältnis von 1,04 (95 % Konfidenzintervall: 0,54, 2,00) ergab. Ein ähnliches Risikomuster wurde bei Frauen beobachtet, allerdings auf der Grundlage kleinerer Zahlen. In dieser großen, bevölkerungsbasierten Kohortenstudie wurden kaum Hinweise auf ein erhöhtes Hautkrebsrisiko bei Mobiltelefonbenutzern festgestellt.

Anmerkung: Ausmaß der Exposition nicht bewertet. Es wurden kaum Hinweise auf ein erhöhtes Hautkrebsrisiko bei Mobiltelefon-Nutzern gefunden.

20. Hauri et al., 2014.

Schweiz. 2000-2008. Volkszählungsbasierte Kohortenstudie (Fernfeld, Funkbasisstationen).

Es wurde der Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMFs) von Rundfunksendern und Krebs im Kindesalter untersucht. Es wurde eine Ereigniszeitanalyse 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. Die HF-EMF-Exposition durch Rundfunksender wurde modelliert. Basierend auf 997 Krebsfällen betrug die adjustierten Hazard Ratios in der Ereigniszeitanalyse für die höchste Expositions-kategorie ($>0,2$ V/m) im Vergleich zur Referenzkategorie ($<0,05$ V/m) 1,03 (95% Konfidenzintervall (CI): 0,74, 1,43) für alle Krebsarten, 0,55 (95% CI: 0,26, 1,19) für Leukämie im Kindesalter und 1,68 (95% CI: 0,98, 2,91) für Tumore des zentralen Nervensystems (ZNS) im Kindesalter. Die Ergebnisse der Analyse der Inzidenzdichte auf der Grundlage von 4 246 Krebsfällen waren für alle Krebsarten und Leukämie ähnlich, wiesen aber nicht auf ein ZNS-Tumorrisiko hin (Inzidenzratenverhältnis = 1,03, 95 % KI: 0,73, 1,46). Diese große zählungsbasierte Kohortenstudie ergab keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen der vorhergesagten HF-EMF-Exposition durch Rundfunk und Leukämie im Kindesalter. Die Ergebnisse für ZNS-Tumore waren weniger konsistent, aber diese umfassendste Analyse deutete nicht auf einen Zusammenhang hin.

Kommentar: Grenzen bei der Bewertung der häuslichen Exposition. Es wird kein Zusammenhang zwischen HF-EMF und Krebs bei Kindern vermutet.

Table 1 – Cancer in epidemiological case-control studies (450-6000 MHz) (a)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments		
1. Aydin et al. 2011, Denmark, Sweden, Norway and Switzerland; 2004-2008; CEFALO-Multicenter case-control study.	352 cases; 646 population-based matched controls (M and F). Age 7-19 years. Data from reports from pediatric, oncology, and neurosurgery departments and from national population-based registries.	Use of mobile phones, assessed by face-to-face interviews with the subjects and their parents.	Mobile phone use.	Intracranial central nervous system tumours,.	Odds ratio (OR) and 95% confidence intervals (95% CI) from conditional logistic regression. Trend from two-sided Wald testOR (95% CI) for brain tumours	Education, family history of cancer, past medical radiation exposure to the head, maternal smoking during pregnancy, past head injuries, use of baby monitors near the head, use of cordless phones, contact with animals, location where the child lived before age, having siblings, birth weight, born premature, ever doctor-diagnosed asthma, ever doctor-diagnosed atopic eczema, and ever doctor-diagnosed hay fever.	Adequate/ Equivocal (brain tumour) Children and adolescent		
			Regular use (at least once per week, > 6 months).	No	1.0 (ref.)				
				Yes	1.36 (0.92-2.02)				
			Time since first use (years)	Never regular user	1.0 (ref.)		0.37		
				≤3.3	1.35 (0.89 to 2.04)				
				3.3-5.0	1.47 (0.87 to 2.49)				
				>5.0	1.26 (0.70 to 2.28)				
			Cumulative duration of calls (hours)	Never regular user	1.0 (ref.)		0.42		
				≤35	1.33 (0.89 to 2.01)				
				36-144	1.44 (0.85 to 2.44)				
	>144	1.55 (0.86 to 2.82)							

Table 1 – Cancer in epidemiological Case-Control studies (450-6000 MHz) (Continued b)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments
2. Atzmon et al. 2012. Israel, diagnosis between 1989 and 2007. Population-based case-control study. The present analysis is a retrospective follow up study at diagnosis.	307 subjects of whom 47 cases (M and F), median age 48. Cases from medical documents with confirmed diagnosis of cancer. Face-to-face interviews in the participant's home.	Exposure to radio and cellular transmitters located in the village prior to 2000. Individual exposure (E) was estimated using the following formula: $E = 1/D^2$, where D is distance (in meters) between a house and the closest transmitter.	Individual exposure and years of residence.	Cancer: colorectal (11), breast cancer (10), lymphoma (6), leukemia (3), lungs (2), uterine (2), liver (2), stomach (2), ovarian (2), pancreas (2), prostate (2), cervix (1), brain (1), and bladder (1). Odds ratios and 95% CI from binary logistic regression model.	<p>OR (95% CI), Colorectal</p> <p>1.03 (1.01-1.05)</p> <p>OR (95% CI), Lymphoma</p> <p>0.95 (0.86-1.06)</p> <p>OR (95% CI), Uterine</p> <p>0.99 (0.91-1.07)</p> <p>OR (95% CI), Prostate</p> <p>1.67 (0.04-61.04)</p> <p>OR (95% CI), Brain</p> <p>12.45 (0.34-453.54)</p>	Duration of residence in the same house; alcohol consumption; nutritional habits; frequency of physical exercise; use of cellular phones; exposure to wireless equipment in the house; use of oral contraceptives, or hormones replacement therapy and income	Inadequate
			Radiation intensity			No appropriate measurement of RF exposure	
			Years of exposure to radiation				

Table 1 - Cancer in epidemiological Case-Control studies (450-6000 MHz) (Continued c)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments		
3. Li et al. 2012. Taiwan; 2003-2007. Population-based case-control study.	2606 childhood neoplasms cases (M and F), 78180 matched controls (939-28170 for leukemia; 394- 11820 for brain neoplasms). Age < 15 years. Clinical data from the National Health Insurance Research Database (NHIRD).	RF exposure metric was estimated from the averaged Annual Power Density for the five-year period prior to the neoplasm diagnosis in the township where the subject lived at the time of neoplasm diagnosis. Information on MPBS from the Taiwan National Communication Council (NCC).	Exposure to mobile phone base stations (MPBS): 800-900 MHz; 1800-2200 Mhz. Estimate APD	All neoplasms: Leukemia, Brain neoplasms. Odds ratio (OR) and 95% confidence intervals (95% CI) from multiple unconditional logistic regression models		age, gender, calendar year of neoplasm diagnosis, urbanisation level of township, and high-voltage (69/161/345 kV) transmission line (HVTL) density of the township.	Inadequate		
			Level of exposure (compared to median= 167.02 WYs/km2			OR (95% CI) for all neoplasms	OR (95% CI) for leukemia	OR (95% CI) for brain neoplasms	Limits in exposure assessment
			<Median ≥Median p-value			1.00 (ref.) 1.13 (1.01-1.28) 0.048	1.00 (ref.) 1.23 (0.99-1.52) 0.052	1.00 (ref.) 1.14 (0.83-1.55) 0.426	
4. Soderqvist et al. 2012. Sweden, 2000-2003. Case-control study.	78 cases; 312 controls (M and F), age 22-80, median 69. Patients were recruited as reported by the Regional Oncology Centre of Uppsala/Orebro and Linköping, including nine of 21 Swedish countries. Controls were drawn from the population registry at random.	Use of wireless phones, i.e. both mobile and cordless phones. Self-reported exposure from postal questionnaire.	The cumulative number of hours of use was calculated using the number of years and average time used per day. Cumulative hours of use was also divided into three groups, 1- 1000, 1001-2000 and more than 2000 h. Use of wireless phones within 1 year before diagnoses were treated as unexposed.	Salivary gland tumour. Odds ratios and 95% confidence intervals from unconditional logistic regression.		No information available	Inadequate		
			Cumulative use (h)			OR (95% CI) for Mobile phones	OR (95% CI) for cordless phones	OR (95% CI) for wireless phones, total	Limits in exposure assessment
			Unexposed 1-1000 1001-2000			1 (Ref.) 0.9 (0.4-1.7) 0.7 (0.1-3.6)	1 (Ref.) 0.6 (0.3-1.3) 1.2 (0.2-7.8)	1 (Ref.) 0.8 (0.5-1.6) 0.7 (0.2-2.7)	

Table 1 - Cancer in epidemiological Case-Control studies (450-6000 MHz) (Continued d)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments			
5. Carlberg et al. 2013. Sweden, 2007-2009; Case-control study.	709 cases; 1368 population-based matched controls (M and F); Age 18-75 years. Data from a cancer register.	Use of wireless phones (mobile and cordless phones), assessed by a self-administered structured phone questionnaire.	Mobile phone use (UMTS, 4G); cordless phone use (1900 MHz).	Meningioma. Odds ratio (OR) and 95% confidence intervals (95% CI) from unconditional logistic regression.	OR (95% CI) for meningioma, Digital (2G)	OR (95% CI) for meningioma, Cordless phone	OR (95% CI) for meningioma, Digital type	Gender, age, year of diagnosis, socio-economic index (SEI).	Adequate/ Positive (meningioma)	
			Cumulative use of wireless phones (h)							
			<39-405			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)		
			1092-2376		0.9 (0.6-1.4)	0.6 (0.2-1.8)	1.2 (0.8-1.8)	0.9 (0.6-1.3)		
		>2376		1.5 (0.9-2.3)	1.8 (1.2-2.8)	1.4 (0.96-2.6)				
		<i>p for trend</i>			0.04	0.0003	0.002			
6. Hardell et al. 2013a. Sweden, 2007-2009. Case-control study.	593 cases, 1368 controls (M and F), age 18-75. Newly diagnosed brain tumour cases from the regional and national Swedish cancer registers. The Swedish Population Registry was used for identification of controls.	Use of wireless phones, i.e. both mobile and cordless phones. Self-reported exposure from self-administered questionnaire supplemented by a phone interview.	Frequency of use; Duration of exposure.	Malignant brain Tumours. Odds ratio (OR) and 95% confidence interval (CI) from unconditional logistic regression analysis.	OR (95% CI) for Mobile phone use (Analogue, 2G, 3G)	OR (95% CI) for digital phone use (2G, 3G, cordless)	OR (95% CI) for all wireless phones	Occupational history, exposure to different agents, smoking habits, medical history including hereditary risk factors, and exposure to ionising radiation.	Adequate/ Positive (Malignant brain tumours)	
			Frequency of use							
			Non users (<1 years)		1 (Ref.)	1 (Ref.)	1 (Ref.)			
			Users (>1 years)		1.6 (0.99 - 2.7)	1.7 (1.04 - 2.8)	1.7 (1.04 - 2.8)			
			Duration of use (years)							
			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)			

Table 1 - Cancer in epidemiological Case-Control studies (450-6000 MHz) (Continued e)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	OR (95% CI) for digital phone use (2G, 3G, cordless)	OR (95% CI) for all wireless phones	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments									
7. Hardell et al. 2013b and Hardell and Carlberg 2015. Sweden, 1997-2003 and 2007-2009. Pooled case-control study.	316 cases of acoustic neuroma, 3530 controls (M and F), aged 20-80 years (1997-2003) and 18-75 years (2007-2009) at the time of diagnosis. Cases reported from cancer registries.	Use of wireless phones, i.e. both mobile and cordless phones. Self-reported exposure from self-administered questionnaire supplemented by a phone interview.	Frequency of use Non users (<1 years) Users (>1 years) Duration of use (years) 1-5 5-10 10-15 15-20 >20	Acoustic neuroma. Odds ratio (OR) and 95% confidence intervals (CI) from unconditional logistic regression analysis.	OR (95% CI) for Mobile phone use (Analogue, 2G, 3G) 1 (Ref.) 1.6 (1.2 - 2.2) 1.3 (0.9 - 1.8) 2.3 (1.6 - 3.3) 2.1 (1.3 - 3.5) 2.1 (1.02 - 4.2) 4.5 (2.1 - 9.5)	OR (95% CI) for digital phone use (2G, 3G, cordless) 1 (Ref.) 1.5 (1.1 - 2.0) 1.4 (1.01 - 1.9) 1.6 (1.1 - 2.3) 1.6 (0.97 - 2.8) 1.1 (0.5 - 2.5) 8.1 (2.0 - 32)	OR (95% CI) for all wireless phones 1 (Ref.) 1.5 (1.1 - 2.0) 1.2 (0.8 - 1.6) 1.9 (1.3 - 2.7) 2.0 (1.3 - 3.2) 1.7 (0.9 - 3.3) 4.4 (2.2 - 9.0)	Occupational history, exposure to different agents, smoking habits, medical history including hereditary risk factors, and exposure to ionising radiation. Positive association in heavy users	Adequate/ Positive (acoustic neuroma and glioma)									
										1380 cases of glioma, 3530 controls (M and F), aged 20-80 years (1997-2003) and 18-75 years (2007-2009) at the time of diagnosis. Cases reported from cancer registries.	Use of wireless phones, i.e. both mobile and cordless phones. Self-reported exposure from self-administered questionnaire.	Frequency of use Non users (<1 years) Users (>1 years) Duration of use (years) 1-5 5-10 10-15 15-20 >25	Glioma. Odds ratio (OR) and 95% confidence intervals (CI) from unconditional logistic regression analysis.	OR (95% CI) for Mobile phone use (Analogue, 2G, 3G) 1 (Ref.) 1.6 (1.2 - 2.0) 1.1 (0.7-1.7) 1.1 (0.8-1.6) 2.2 (1.5-3.7) 2.4 (1.5-3.7) 3.2 (1.9-5.5) 4.8 (2.5-9.1)	OR (95% CI) for digital phone use (2G, 3G, cordless) 1 (Ref.) 1.3 (1.1-1.6) 1.2 (0.9-1.4) 1.6 (1.3-2.0) 1.4 (1.1-1.9) 2.0 (1.5-2.8) 1.6 (0.6-4.4)	OR (95% CI) for all wireless phones 1 (Ref.) 1.3 (1.1-1.6) 1.1 (0.9-1.4) 1.5 (1.2-1.9) 1.4 (1.1-1.8) 1.7 (1.2-2.3) 1.9 (1.3-2.9) 3.0 (1.7-5.2)	Occupational history, exposure to different agents, smoking habits, medical history including hereditary risk factors, and exposure to ionising radiation.)	

Table 1 - Cancer in epidemiological Case-Control studies (450-6000 MHz) (Continued f)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments		
8. Coureau et al. 2014, France: 2004-2006, CERENAT. Case-control study.	596 cases and 1192 controls (M and F) over 16 years of age. Cases identified from populationbased cancer registries. Two controls with no history of CNS tumour were randomly selected from the local electoral rolls matched on age (± 2 years), sex and department of residence.	Exposure from mobile phone use. Self-reported exposure from standardised questionnaires delivered as face-to-face non-blinded structured interviews by trained interviewers.	Time since first use (years), Cumulative duration of calls (hours)	Gliomas, meningiomas. Conditional logistic regression for matched sets was used to estimate ORs and 95% CIs	OR (95% CI) for glioma	Level of education, smoking, alcohol consumption, potential occupational confounders were identified from detailed job calendars, and from specific questions about exposure to pesticides, extremely low-frequency electromagnetic fields (ELF-EMF), RF-EMF, and ionising radiation	Adequate/ Positive (glioma, meningioma)		
			Regular mobile phone use		1 (Ref.)				
			Not regular user		1 (Ref.)		1 (Ref.)	Positive association in heavy users	
			Regular user		1.24 (0.86 - 1.77)		0.90 (0.61 - 1.34)		
			Time since first use (years)						
			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)		
			Cumulative duration of calls (hours)						
			<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)					

Table 1 – Cancer in epidemiological Case-Control studies (450-6000 MHz) (Continued g)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments	
<p>9. Pettersson et al. 2014. Sweden, 2002-2007. Population-based case-control study.</p>	<p>422 cases with acoustic neuroma, 643 controls for analyses of mobile phone use, 417 cases with acoustic neuroma, 635 controls for analyses of cordless phone use (M and F), age 20-69 years. Cases identified in clinics, the Swedish Regional Cancer Registers and local acoustic neuroma registries. Two matched controls per case randomly selected from the Swedish population register.</p>	<p>Use of mobile phone and cordless phone -Self-reported exposure from mail questionnaire.</p>	Frequency of use; Duration of exposure; Cumulative hours of use	<p>Acoustic Neuroma. Odds Ratios (OR) with 95% CIs from conditional logistic regression</p>	<p>OR (95% CI) for Mobile phone users 1 (Ref.) 1.18 (0.88 - 1.59) 1.06 (0.73 - 1.54) 1.39 (0.97 - 1.97) 1.09 (0.75 - 1.59) 1.09 (0.73 - 1.62) 1.12 (0.74 - 1.69) 1.13 (0.75 - 1.70) 1.46 (0.98 - 2.17)</p>	<p>Smoking, education, marital status, and parity; for cordless phone analyses: hands-free use.</p> <p>Limits in exposure assessment. Positive association in heavy users.</p>	<p>Adequate/ Equivocal (Acoustic neuroma)</p>	
			Never or rarely					1 (Ref.)
			Regular use					1.41 (1.07 - 1.86)
			<i>Duration of use (years)</i>					
			<5					1.35 (0.97 - 1.89)
			5 to 9					1.74 (1.22 - 2.46)
			=>10					1.10 (0.73 - 1.64)
			<i>Cumulative use (hours)</i>					
			<38					1.22 (0.82 - 1.82)
			39-189					1.27 (0.85 - 1.89)
190-679	1.42 (0.96 - 2.09)							
=>680	1.67 (1.13 - 2.49)							

Table 1 – Cancer in epidemiological Case-Control studies (450–6000 MHz) (Continued h)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments	
10 Yoon et al. 2015. Korea. 2002-2007; case-control study.	285 cases, 285 controls (M and F), mean age 42.3 (±14.1) cases; 42.5 (±14.0) controls. Patients recruited from five areas including Seoul and checked at department of neurosurgery in nine hospitals. The control group persons who received health screenings at the same hospitals.	Exposure from mobile phone use. Self-reported exposure from questionnaires.	Cumulative hours and lifetime years of use; average daily receiving call and the average daily sending call; average call duration time	Glioma; adjusted odds ratios (aORs) and 95% CIs were calculated using logistic regression	OR (95% CI) for glioma	adjusted for sex, age, type of respondent, five residential regions, educational achievement, the use of dye, alcohol drinking, the use of computer, and the use of electric blanket	Adequate/ Equivocal (Glioma)	
			Use of mobile phone					
			Non users		1 (Ref.)			
			Users		1.17 (0.63 - 2.14)			
			Lifetime years of use (months)					
			<48		1.28 (0.62 - 2.64)			
			48-84		1.27 (0.63 - 2.56)			
			>48		1.04 (0.52 - 2.09)			
			Cumulative hours of use (h)					
			< 300		1.25 (0.64 - 2.45)			
300-900		1.59 (0.72 - 3.21)						
>900		0.64 (0.30 - 1.34)						
Average duration time (min)								
<2		1.18 (0.62 - 2.24)						
3-4		1.31 (0.65 - 2.63)						
>5		1.00 (0.45 - 2.24)						
11. Al-Qahtani 2016. Saudi Arabia; 1996-2013; Retrospective case-control study.	26 cases, 61 controls (M and F). <30 years: 28; 30-39 years: 23; 40-49 years: 15; >50 years: 21. Hospital records.	Exposure from mobile phone use. Self-reported exposure from telephone and in-person interviews using standardized questionnaire.	Everyday use: <=1 h/day: unexposed; >1 h/day: exposed. Latency: <10 years of use; =>10 years of use	Parotid gland tumour. OR and 95% confidence interval	OR (95% CI) for parotid gland tumour	Smoking Other confounding not considered. Small sample.	Inadequate	
			Everyday use					
			Non exposed		1 (Ref.)			
			Exposed		3.47 (1.30 - 9.23)			
			Duration of exposure					
< 10 years		3.6 (0.97 - 13.36)						
10 years or more		3.46 (0.77 - 15.56)						

Table 1 - Cancer in epidemiological Case-Control studies (450-6000 MHz) (Continued i)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments		
12. Satta et al. 2018. Sardinia, Italy; 1998-2004; Population-based case-control study as part of the European multicenter study EPILYMPH.	322 lymphoma cases; 444 matched controls (M and F); Cases aged 25 to 74 years. In person interviews using longest residential addresses available for the subset of subjects residing within 250 m of the closest transmitter base station, using a Microradar broadband detector.	Exposure from radio-television transmitter or mobile phone base station near the three most prolonged residential addresses at any time of the life. Distance used as proxy for intensity of exposure; RF-EMF measurements at the door of the longest residential addresses available for the subset of subjects residing within 250 m of the closest transmitter base station, using a Microradar broadband detector.	Radiofrequency field estimates (V/m):	Lymphoma subtypes: B-cell; T-cell; Hodgkin; not otherwise specified NHL; OR and 95% confidence interval from logistic regression.	OR for all lymphomas	Age, gender, years of education (categorized as 8 years, 9-13 years, 14 years), level of education and quartiles of vehicular traffic in proximity to the residential addresses of study subjects.	Inadequate		
			RF field estimates (V/m):			OR for B-cell lymphoma			
			<0.01	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	Uncertain exposure assessment	
			0.01- 1.23	0.7 (0.4 - 1.5)	0.8 (0.4 - 2.0)	1.5 (0.5 - 4.4)			
			1.24-1.50	0.7 (0.3 - 1.5)	0.9 (0.4 - 2.1)	-			
			1.51- 1.7401	1.0 (0.5 - 2.1)	1.1 (0.5 - 2.7)	0.6 (0.1 - 3.1)			
			>1.7401	1.2 (0.6 - 2.6)	1.4 (0.6 - 3.4)	0.9 (0.2 - 4.6)			
13. Balekrouzou et al. 2017. Central African Republic; 2003-2015; Case-control study.	174 cases; 348 age-matched controls (F); Age >15 years. Data from a cancer register.	Use of mobile phones, radiation exposure. Trained interviewers administered a standardized in person interview.	Exposure to radiation; habit to keep mobile phone in the bra.	Breast cancer. Odds ratio (OR) and 95% confidence intervals (95% CI) from unconditional logistic regression.	OR (95% CI) for Breast cancer, univariate analysis	Age, occupation, economic status, education, residence, ethnic group and marital status, family history, radiation exposure, food consumption, physical activity, alcohol, tobacco, use of bra, habit to keep money or cell phones in bras, height, weight and BMI.	Inadequate		
			Daily use (h/day)			OR (95% CI) for Breast cancer, multivariate analysis			
			No	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)		
			Yes	8.02 (5.16-12.47)	0.000	8.21 (5.04 - 13.38)	0.000		
			Habit of keeping cell phone in bras						
			Yes	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)				
			No	0.45 (0.31-0.65)	0.000	0.56 (0.35-0.89)	0.01		

Table 1 - Cancer in epidemiological Case-Control studies (450-6000 MHz) (Continued j)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments
14. Vila et al. 2018. Australia, Canada, France, Germany, Israel, New Zealand and the United Kingdom; 2000-2004; INTEROCC study; international case-control study on mobilephone use and brain cancer risk in seven countries. *	2054 glioma cases; 1924 meningioma cases; 5601 controls (M and F). Cases aged 30 to 59 years of age; up to 69 years in Germany; 18 years and above in Israel; 18 to 69 years in the United Kingdom. In person computer-assisted personal interview.	Self-reported occupational exposure or proximity to radars, telecommunication antennas, transmitters, equipment for semiconductors manufacturing, medical diagnosis and treatment, industrial heating or food heating. A source-exposure matrix (SEM) was used to assign average exposure levels to each RF and IF source reported. Field intensities for each EMF source were weighted using the frequency-dependent reference levels (RLs) by the International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP) for occupational exposure. Frequency of exposure: 10 MHz- 300 GHz.	E-field (V/m, Arithmetic mean exposure levels from the SEM, RF sources organized by E-field exposure level)	Glioma and meningioma risk, adjusted OR and 95% confidence intervals.	OR (95% CI) for Gliomas OR for Meningiomas	No information available Study suggestive of a potential role in brain tumour promotion/progression	Adequate/negative (Glioma and meningioma)
			Duration of exposure: 1-4 years Non exposed		1,00 (ref.) 1,00 (ref.)		
			<0.42		0.69 (0.49 - 0.98)		
			0.42-4.47		0.85 (0.54 - 1.35)		
			4.48-18.8		0.77 (0.44 - 1.37)		
			≥18.9		1.38 (0.75 - 2.54)		
			Duration of exposure: 5-9 years Non exposed		1,00 (ref.) 1,00 (ref.)		
			<0.42		0.84 (0.61 - 1.17)		
			0.42-4.47		0.93 (0.60 - 1.44)		
			4.48-18.8		0.82 (0.46 - 1.47)		
			≥18.9		0.90 (0.44 - 1.83)		

Table 1 - Cancer in epidemiological Case-Control studies (450-6000 MHz) (Continued I)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments		
15. Luo et al. 2019. Connecticut, USA, 2010-2011; population-based case-control study.	462 cases and 498 population-based controls (M and F), 21-84 years of age.	Use of mobile phones, radiation exposure. Trained interviewers administered a standardized and structured questionnaire.	Use of mobile phones; Duration of exposure.	Thyroid cancer (papillary, follicular, medullary, anaplastic). Multivariate unconditional logistic regression to estimate odds ratios (OR) and 95% confidence intervals (95% CI).	OR (95% CI) for Thyroid cancer, Overall		Adequate/ Equivocal (Thyroid cancers)		
			Use of mobile phone		OR (95% CI) for Thyroid cancer, MM				
			Non users (< 6 months use)		OR (95% CI) for Thyroid cancer, FF				
			Users (< 6 months use)		1 (Ref.)	1 (Ref.)			
			Daily use (h/day)		1.05 (0.74, 1.48)	1.27 (0.62, 2.61)	0.99 (0.66, 1.47)		
			≤1		1.10 (0.72, 1.66)		0.97 (0.60, 1.56)		
			1-2		1.51 (0.90, 2.53)		1.45 (0.79, 2.65)		
			>2		1.40 (0.83, 2.35)		1.52 (0.83, 2.80)		
			Age at first use (years)						
			≤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)	
Duration of use (years)									
≤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)	Some evidence in long term users			

Table 2 – Cancer in epidemiological ecological case-control studies (450-6000 MHz) (a)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	p of Spearman for Glioma, (p-value)	p of Spearman for all brain, (p-value)	p of Spearman for Lymphoma, (p-value)	p of Spearman for all tumours, (p-value)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments
16. Gonzalez Rubio et al. 2017, Spain. Case-control ecological study.	95 cases: 65 lymphomas, 12 gliomas, 18 meningiomas (30 brain tumours); 390 anonymous controls (M and F). Resident population data in the 110 administrative districts from the Spain's National Statistics Institute (INE). Addresses for all cancer cases of gliomas, meningiomas and lymphomas from Oncology Service of the University Hospital of Albacete. Representative random sample of 390 anonymous addresses for the control group from the Statistics Service of the Town Council of Albacete.	Residential exposure to any RF-14 frequency bands (FM, TV3, TETRA, TV4ands, GSMTx, GSM Rx, DCS Tx, DCS Rx, DECT, UMTS Tx, UMTS Rx, WIFI2G, WIMAX y WIFI 5G), ranging from 88MHz up to 6 GHz. Personal exposure assessed using an EME Spy 140 (Satimo)exposimeter, conveying the exposimeter in a bicycle, 168266 total measurement, 12019 measurements per frequency, 1540 average measurement records per administrative region.	Average total exposure to RF-EMF (V/m) per administrative region: Min 0.07, max 1.03	Gliomas, meningiomas and lymphomas; Spearman correlation test between exposure and incidence of tumours. Effect estimate not appropriate	0,19 (0,04)	0,15 (0,13)	0,28 (0,003)	-0,03 (0,72)	0,13 (0,19)	Smoking Other confounders not analysed Design not clear, particularly given that there seems to be personal exposure assessment	Inadequate
	Design not clear, particularly given that there seems to be personal exposure assessment	Not clear exposure assessment									

Table 3 – Cancer in epidemiological cohort studies (450-6000 MHz) (a)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments		
17. Frei et al. 2011. Denmark; 1990-2007. Nationwide cohort study.	All Danes aged ≥30 and born in Denmark after 1925, subdivided into subscribers and non-subscribers of mobile phones before 1995.	Use of mobile phones as mobile phone subscription records for 1982-95 were obtained from the Danish network operators.	Mobile phone use, duration of subscription.	Tumours in the central nervous system. Sex-specific incidence rate ratios (IRR) and 95% confidence intervals from log-linear Poisson regression models.	IRR (95% CI) for Central nervous system tumours, MM	Age, calendar period, education, and disposable income.	Inadequate		
			Use of mobile phones		IRR (95% CI) for Central nervous system tumours, FF				
			Non-subscribers		1.0 (ref.)			1.0 (ref.)	
			Subscribers		1.02 (0.86 to 1.22)			1.00 (0.83 to 1.22)	
			Years of subscription						
			Non-subscribers		1.0 (ref.)			1.0 (ref.)	
			1-4		1.07 (0.92 to 1.24)			0.97 (0.69 to 1.36)	1.29 (0.92 to 1.79)
			5-9		0.95 (0.83 to 1.08)			1.05 (0.81 to 1.37)	0.95 (0.70 to 1.29)
			10-12		1.08 (0.93 to 1.25)			1.05 (0.75 to 1.47)	0.82 (0.55 to 1.24)
			≥13		1.03 (0.83 to 1.27)			0.91 (0.41 to 2.04)	0.94 (0.55 to 1.60)

Table 3 – Cancer in epidemiological cohort studies (450-6000 MHz) (Continued b)

Study Information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	RR (95% CI) for all intracranial CNS tumours	RR (95% CI) for glioma	RR (95% CI) for meningioma	RR (95% CI) for pituitary	RR (95% CI) for acoustic neuroma	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments
18. Benson et al., 2013. United Kingdom; prospective Cohort study, the Million Women Study.	1.3 million middle-aged women recruited for Breast Screening Programme	Use of mobile phone. Postal questionnaire; questions on mobile phone use were asked in 1999-2005, and again in 2009	Use of mobile phone.	Intracranial central nervous system tumours. Cox regression models to estimate adjusted relative risks (RRs) and 95% confidence intervals (CIs)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	Socioeconomic status, region, age at baseline, height, BMI, smoking, alcohol intake, exercise, use of menopausal hormone therapy.	Adequate/Positive (acoustic neuroma, pituitary gland)
					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)		
					1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)		
					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)		
					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)		
					1.00 (ref.)	1.00 (ref.)		<i>p</i> -value for trend = 0.23	<i>p</i> -value for trend = 0.03		
					1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)		
					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)		
					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)		
					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)		

Table 3 – Cancer in epidemiological cohort studies (450-6000 MHz) (Continued c)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/ad justments	Comments	
19. Poulsen et al. 2013. Denmark, 1982-1995, follow up until 2007. Cohort study of CANULI study of social inequality and cancer incidence and survival	355701 (M and F), 30 years to date of the first cancer diagnosis, death, emigration.	Use of mobile phones. Mobile phone subscriptions in Denmark during the period from 1982 until the end of 1995. Person-time within the first year of subscription was defined as unexposed.	Use of mobile phones, Duration of exposure.	Basal Cell Carcinoma of the head and neck, Squamous Cell Carcinoma and Melanoma on the head and neck. Incidence rate ratios (IRRs) and 95% confidence intervals from log-linear Poisson regression models.	IRR (95% CI) for Basal Cell Carcinoma of the head and neck, MM	Age, calendar year, educational level, and income. Exposure assessment by mobile phone subscription only	Inadequate	
			1 (Ref.)		IRR (95% CI) for Basal Cell Carcinoma of the head and neck, MM			1 (Ref.)
			0.93 (0.82 - 1.05)		IRR (95% CI) for Basal Cell Carcinoma of the head and neck, FF			1.05 (0.80 - 1.37)
			1 (Ref.)		IRR (95% CI) for Squamous Cell Carcinoma and Melanoma of the head and neck, FF			1 (Ref.)
			0.98 (0.93 - 1.03)		IRR (95% CI) for Basal Cell Carcinoma of the head and neck, MM			1.01 (0.88 - 1.16)
			1.01 (0.91 - 1.13)		IRR (95% CI) for Squamous Cell Carcinoma and Melanoma of the head and neck, MM			1.16 (0.69 - 1.94)
			0.78 (0.64 - 0.95)		IRR (95% CI) for Basal Cell Carcinoma of the head and neck, FF			1.01 (0.65 - 1.57)
			1.02 (0.83 - 1.26)		IRR (95% CI) for Squamous Cell Carcinoma and Melanoma of the head and neck, FF			0.92 (0.55 - 1.54)
			1.20 (0.79 - 1.82)		IRR (95% CI) for Basal Cell Carcinoma of the head and neck, MM			1.20 (0.65 - 2.22)
			1.02 (0.80 - 1.30)		IRR (95% CI) for Squamous Cell Carcinoma and Melanoma of the head and neck, MM			1.01 (0.66 - 1.27)

Table 3 – Cancer in epidemiological cohort studies (450-6000 MHz) (Continued d)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments	
20. Hauri et al. 2014. Switzerland, 2000-2008. Census-based cohort study.	997 cancer cases from Swiss National Cohort; 283 leukemia, 258 CNS tumours, 456 other cancers; 117 cases from Swiss Childhood Cancer Registry, not linked with SNC; 27 leukemia, 26 CNS tumours, 64 other cancers (M and F); ≤15 years.	Residential exposure to broadcast transmitters emitting medium-wave (0.5-1.6 MHz), short-wave (6-22 MHz), very high frequency (VHF; 174-230 MHz), and ultra-high frequency (UHF; 470-862 MHz) EMFs. RF-EMF levels from VHF and UHF transmitters ... were modeled by the Federal Office of Communications for an area with a radius of 10 km around each transmitter for the years 1990 and 2000.	A priori chosen cutpoints to differentiate between low, medium, and high exposure. V/m	Leukemia, acute lymphoblastic leukemia, and Central Nervous System tumours, including benign tumours. Hazard Ratio from time-to-event analysis (Cox Regression), 2000-2008. Incidence Rate Ratio from Poisson regression analysis, 1985-2008.	HR (95% CI), IRR (95% CI), All cancers	Sex, benzene, natural background ionising radiation, distance to the nearest high-voltage power line, and degree of urbanisation.	Adequate/ Negative (Childhood cancers)	
			Residential exposure	1 (Ref.)	HR (95% CI), IRR (95% CI), All leukemias	1 (Ref.)		
			Low	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)		
			Medium	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)		
			High					

Table 4 (summary 1-3) – Collected data on cancer in epidemiological studies (450-6000 MHz)

Total studies FR1*	20			
Adequate studies	11			
Observed Tumour	Total adequate studies	Positive results	Equivocal results	Negative results
Glioma	8	3	2	3
Acoustic neuroma	3	2	1	
Meningioma	4	2		2
Lymphoma	1			1
Thyroid gland	1		1	
Pituitary gland	1	1		

*Some of the studies include more than one tumour site.

1. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DER EPIDEMIOLOGISCHEN STUDIEN (FR1: 450 bis 6000 MHz) (Tabelle 4)

Die epidemiologischen Belege für mögliche Zusammenhänge zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und Krebs stammen aus Studien mit unterschiedlichem Design, die eine Reihe von Expositionsquellen untersuchten: Die Populationen umfassten Personen, die am Arbeitsplatz exponiert waren, Personen, die durch Quellen in der allgemeinen Umwelt exponiert waren, z. B. Funk-Basisstationen, und Personen, die durch die Nutzung von drahtlosen (mobilen und schnurlosen) Telefonen exponiert waren.

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

Nach weiteren eingehenden Analysen der 20 Originalarbeiten erwiesen sich 11 Studien auf der Grundlage der Expositionsbewertung, des Stichprobenumfangs und der Angemessenheit der Confounding-Analysen als angemessen.

Gliome, Akustikusneurinome, Meningiome, Lymphome, Schilddrüsen- und Hypophysentumore wurden in den 11 adäquaten Studien auf einen möglichen Zusammenhang mit der Exposition gegenüber HF-EMF im Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen oder mit der umweltbedingten/beruflichen Exposition gegenüber Emissionen von Funkbasisstationen untersucht. Der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Neoplasien und der HF-EMF-Exposition wird im Folgenden dargestellt. In Klammern sind die Zahlen angegeben, die den verschiedenen Studien zugeordnet sind.

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

Akustikusneurinom: von 3 adäquaten Studien zu diesem Ergebnis zeigten 2 einen positiven Zusammenhang mit der HF-EMF-Exposition (Ref: 7, 18), 1 war mehrdeutig (Ref: 9).

Meningeome: von 4 adäquaten Studien zu diesem Ergebnis zeigten 2 einen positiven Zusammenhang mit der HF-EMF-Exposition (Ref: 5, 8), und 2 waren negativ (Ref: 14, 18).

Lymphome/Leukämie: die einzige adäquate Studie (Kindheit) zu diesem Ergebnis war negativ (Ref: 20).

Schilddrüsentumor: Die einzige adäquate Studie zu diesem Ergebnis zeigte mehrdeutige Ergebnisse (Ref: 15).

Hypophysentumor: Die einzige adäquate Studie zu diesem Ergebnis war positiv (Ref: 18).

Die Ergebnisse der verschiedenen Studien für dasselbe Ergebnis sind gemischt (mit widersprüchlichen Ergebnissen), wie in Tabelle 4 zusammengefasst. Die Tumore mit dem stärksten Nachweis eines Zusammenhangs sind Gliome und Akustikusneurinome. Der Zusammenhang von Gliomen und Akustikusneurinomen ist bei langjährigen, intensiven Nutzern von Mobiltelefonen stärker, was auch die am umfassendsten untersuchte Expositionsquelle ist, und in einigen Fällen war das Auftreten von Tumoren mit der Seite verbunden, auf der das Gerät benutzt wurde.

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

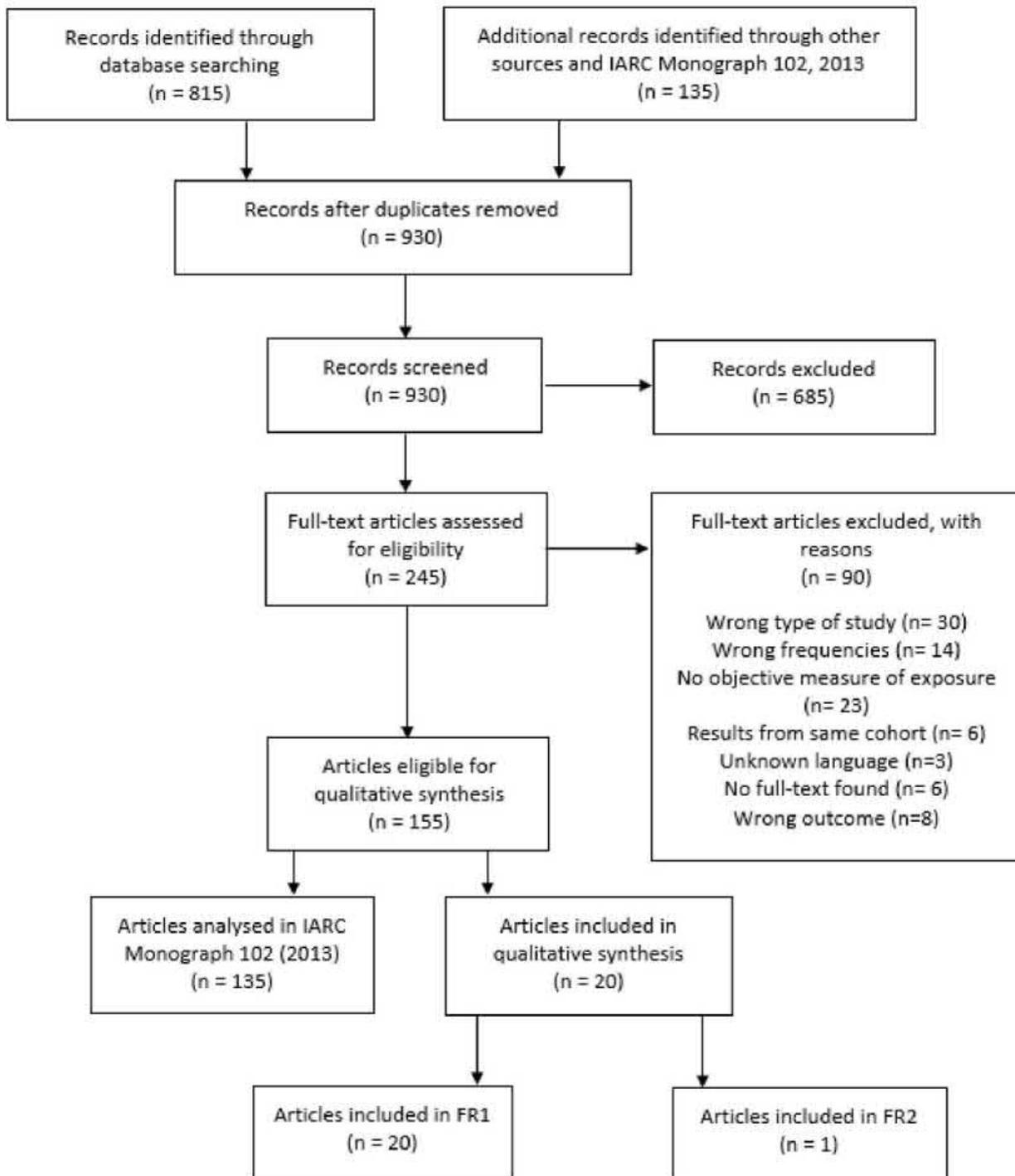
4.1.2 Krebs in epidemiologischen Studien: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW).

Wie im PRISMA-Flussdiagramm hervorgehoben, wurden 930 Artikel auf der Grundlage von Titel und Zusammenfassung gescreent und 685 hierbei ausgeschlossen; 245 wurden auf der Grundlage von Volltexten gescreent und hiervon wurden 90 ausgeschlossen, und nach einer gründlicheren Bewertung kam nur ein veröffentlichter Artikel für die Einbeziehung in den Scoping Review für den höchsten Frequenzbereich in Frage (dieser Artikel berichtete über berufliche Expositionen sowohl für FR1 als auch für FR2, so dass sich dies nicht zur Gesamtzahl der einbezogenen 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 beschlossen, die wichtigsten Informationen in den zusammenfassenden Übersichtstabellen bereitzustellen, da diese neuen Frequenzen der eigentliche Schwerpunkt dieses Scoping Reviews sind.

Auch hier wird für jeden Artikel die Zusammenfassung präsentiert, zusammen mit einer Tabelle, die die wichtigsten Informationen zusammenfasst; darüber hinaus bewertete ein hochrangiger Experte ihre Eignung für die Bewertung karzinogener Wirkungen (angemessen/unangemessen) und eine Gesamtsynthese der Ergebnisse (positiv/negativ/nicht eindeutig) nach den im Abschnitt zur Methodik beschriebenen Kriterien zur Bewertung der Eignung.

Figure 10 – Flow diagram. Epidemiological studies on cancer for FR2



Abschließend wurden bei der Suche in den Datenbanken PubMed und EMFPortal nach epidemiologischen Studien zu Expositionen von 24 GHz bis 100 GHz (FR2) drei Studien gefunden. 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 die Überprüfung einbezogen wurde. 3 Studien beziehen sich auf die berufliche Exposition von Radarbedienern oder Arbeitern in der Nähe von Radarstationen. Der Frequenzbereich, der von Radaranlagen genutzt wird, ist in Tabelle 5 dargestellt (IEEE 521-2002). Die Exposition von Arbeitnehmern ist nicht gut bemessen, da die HF-EMF-Exposition in Selbstauskunft angegeben wird, und meist durch die Entfernung zum Radargerät oder einfach durch die Berufsbezeichnung abgeschätzt wird:

Table 5 – Range of frequencies used by radar communication.

Range name	Frequency
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 analysierten Studien für diese Frequenzen sind in den Tabellen 6 a und 6 b dargestellt. Die folgende epidemiologische Studie wurde in der Bewertung der IARC-Arbeitsgruppe 2011 nicht berücksichtigt:

3. Vila et al. (2018).

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

Im Jahr 2011 stuft die Internationale Agentur für Krebsforschung hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) als möglicherweise krebserregend für den Menschen (Gruppe 2B) ein, obwohl die epidemiologischen Belege für den Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition gegenüber HF-EMF und Krebs als unzureichend bewertet wurden, was zum Teil auf Einschränkungen bei der Expositionsbeurteilung zurückzuführen ist. Diese Studie untersucht den Zusammenhang zwischen beruflicher HF(Hochfrequenz)- und ZF(Zwischenfrequenz)-EMF-Exposition und dem Hirntumorrisiko (Gliom und Meningiom) in der multinationalen bevölkerungsbasierten Fall-Kontroll-Studie INTEROCC (mit fast 4000 Fällen und über 5000 Kontrollen) unter Verwendung eines neuartigen Expositionsbeurteilungsansatzes. Methoden: Individuelle Indizes der kumulativen Exposition gegenüber HF- und ZF-EMF (insgesamt und in spezifischen Expositionszeitfenstern) wurden den Studienteilnehmern anhand einer Quellen-Expositions-Matrix und detaillierter Interviewdaten über die Arbeit mit EMF-Quellen oder in deren Nähe zugeordnet. Mit Hilfe der bedingten logistischen Regression wurde der Zusammenhang mit dem Gliom- und Meningiomrisiko untersucht. Insgesamt waren etwa 10 % der Studienteilnehmer HF ausgesetzt, während nur 1 % IF-EMF ausgesetzt war. Es gab keinen eindeutigen Hinweis auf 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 (≥ 90 . Perzentil) für das jüngste Expositionszeitfenster (1-4 Jahre vor der Diagnose oder dem Referenzdatum) sowohl für Gliome (OR=1,62 (95% Konfidenzintervall (CI): 0,86, 3,01) als auch für Meningeome (OR=1,52, 95% CI: 0,65, 3,55) erhalten. Trotz des verbesserten Expositionsbeurteilungsansatzes, der in dieser Studie verwendet wurde, konnten keine eindeutigen Zusammenhänge festgestellt werden. Die Ergebnisse für die kürzliche Exposition gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern deuten jedoch auf eine mögliche Rolle bei der Förderung/Progression von Hirntumoren hin und sollten weiter untersucht werden.

Kommentar: Verbesserte Expositionsabschätzung. Es wurden keine eindeutigen Zusammenhänge für Gliome und Meningiome identifiziert, was auf eine mögliche Rolle bei der Förderung/Progression von Hirntumoren hinweist.

Table 6 – Cancer in epidemiological case-control studies (24 to 100 GHz, MMW) (a)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments
1. Shang et al. 2001. Germany, 1994-1997. Hospital-based and population-based case-control study.	118 cases, 475 controls (M and F), 35-74 years. Hospital-based case-control study at the Division of Ophthalmology, University of Essen; Controls in the population-based study were selected randomly from mandatory lists of residence.	Occupational sources of electromagnetic radiation. Self-reported exposure from face-to-face interview.	Lifetime exposure: source of exposure, duration, beginning of exposure.	Uveal Melanoma. Odds ratios (ORs) and 95% CI from conditional logistic regression models.	OR (95% CI), Uveal Melanoma	Medical history, phenotypic characteristics, life-style factors. Few participants reported exposure to radar	Adequate/negative (Uveal melanoma)
			EMF Source	Radar units		0.4 (0.0-2.6)	
2. Baumgardt-Elms et al. 2002. Germany, 1995-1997. Population-based case-control study.	269 cases, 797 controls (M), 15-69 years. Cases were ascertained through an active reporting system of clinical and pathology departments in the study regions. Controls were selected at random from the mandatory registries of residents.	Occupational exposure to EMF. Self-reported exposure from face-to-face interview.	At least 6 months of exposure. Exposures grouped according to the electromagnetic spectrum and assumptions on the strength of the electric and magnetic fields measured in specific workplaces.	Testicular cancer. Odds ratio (OR), 95% CI from conditional logistic regression.	OR (95% CI), testicular cancer	Matching factors age (ten 5-year age groups since there were no cases in the highest age group) and region of residence (five strata) through stratification: subgroup analysis for blue- and white-collar workers.	Adequate/negative (Tumours of the testis)
			EMF Source	Working near radar units		1.0 (0.60-1.75)	

Table 6 – Cancer in epidemiological case control studies (24 to 100 GHz, MMW) (continued b)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments		
3. Vila et al. 2018. Australia, Canada, France, Germany, Israel, New Zealand and the United Kingdom; 2000-2004; INTEROCC study: international case-control study on mobilephone use and brain cancer risk in seven countries.	2054 glioma cases; 1924 meningioma cases; 5601 controls (M and F). Cases aged 30 to 59 years of age; up to 69 years in Germany; 18 years and above in Israel; 18 to 69 years in the United Kingdom. In person computer-assisted personal interview.	Self-reported occupational exposure or proximity to radars, telecommunication antennas, transmitters, equipment for semiconductors manufacturing, medical diagnosis and treatment, industrial heating or food heating. A source-exposure matrix (SEM) was used to assign average exposure levels to each RF and IF source reported. Field intensities for each EMF source were weighted using the frequency-dependent reference levels (RLs) by the International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP) for occupational exposure. Frequency of exposure: 10 MHz-300 GHz.	E-field (V/m, Arithmetic mean exposure levels from the SEM, RF sources organized by E-field exposure level)	Glioma and meningioma risk; adjusted OR and 95% confidence intervals.	OR (95% CI) for Gliomas OR for Meningiomas	No information available	Adequate/negative (glioma and meningioma)		
			Duration of exposure: 1-4 years					1.00 (ref.)	1.00 (ref.)
			Non exposed					0.69 (0.49-0.98)	0.60 (0.38-0.96)
			<0.42					0.85 (0.54-1.35)	1.13 (0.60-2.14)
			0.42-4.47					0.77 (0.44-1.37)	0.86 (0.35-2.13)
			4.48-18.8					1.38 (0.75-2.54)	1.30 (0.58-2.91)
			≥ 18.9						
			Duration of exposure: 5-9 years						
			Non exposed					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)							

Table 7 (Summary 6 a, b) – Summary table for epidemiological studies on Cancer, FR2: 24-100 GHz

Total studies*	3			
Adequate studies	3			
Observed Tumour	Total adequate studies	Positive results	Equivocal results	Negative results
Glioma	1			1
Meningioma	1			1
Uveal melanoma	1			1
Testicular cancer	1			1

*one of the studies includes more than one tumour site.

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

Alle 3 geprüften adäquaten 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 berufliche Exposition gemeldeten Daten auch für FR2 zu dem Schluss:

"Tumore des Gehirns: "... *Fehlklassifizierung der Exposition und unzureichende Berücksichtigung möglicher Verwechslungen schränken die Interpretation der Ergebnisse ein. Daher gibt es keinen eindeutigen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition gegenüber HF-Strahlung und dem Risiko von Hirntumoren.* "

"Leukämie/Lymphom: *Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es zwar schwache Hinweise auf ein mögliches, erhöhtes Leukämie- oder Lymphomrisiko im Zusammenhang mit beruflicher Exposition gegenüber HF-Strahlung gibt, dass aber die begrenzte Expositionsabschätzung und mögliche Verwechslungsgefahr die Interpretation dieser Ergebnisse erschweren.*"

Andere Tumorarten erwiesen sich als potenziell mit der Exposition gegenüber hohen Frequenzen assoziiert (Aderhautmelanom, Hoden-, Brust-, Lungen- und Hautkrebs), aber viele der Studien wiesen methodische Einschränkungen auf und die Ergebnisse waren inkonsistent (IARC 2013). Danach wurde keine weitere adäquate Studie über den Zusammenhang zwischen diesen Tumorarten und der Exposition gegenüber HF-EMF durchgeführt (FR2).

Die vorliegende Überprüfung bestätigt diese Bemerkungen, so dass wir bestätigen müssen, dass die einzigen drei epidemiologischen Studien, die für die FR2-Exposition untersucht wurden, nicht geeignet sind, um die Auswirkungen auf die Gesundheit zu bewerten, wenn es um die höchste 5G-Frequenz (FR2) geht.

4.1.3 Krebs bei Versuchstieren: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6000 MHz), der auch die in den zellularen Mobilfunk-Breitbandnetzen der vorherigen Generationen (1G, 2G, 3G und 4G) verwendeten Frequenzen umfasst.

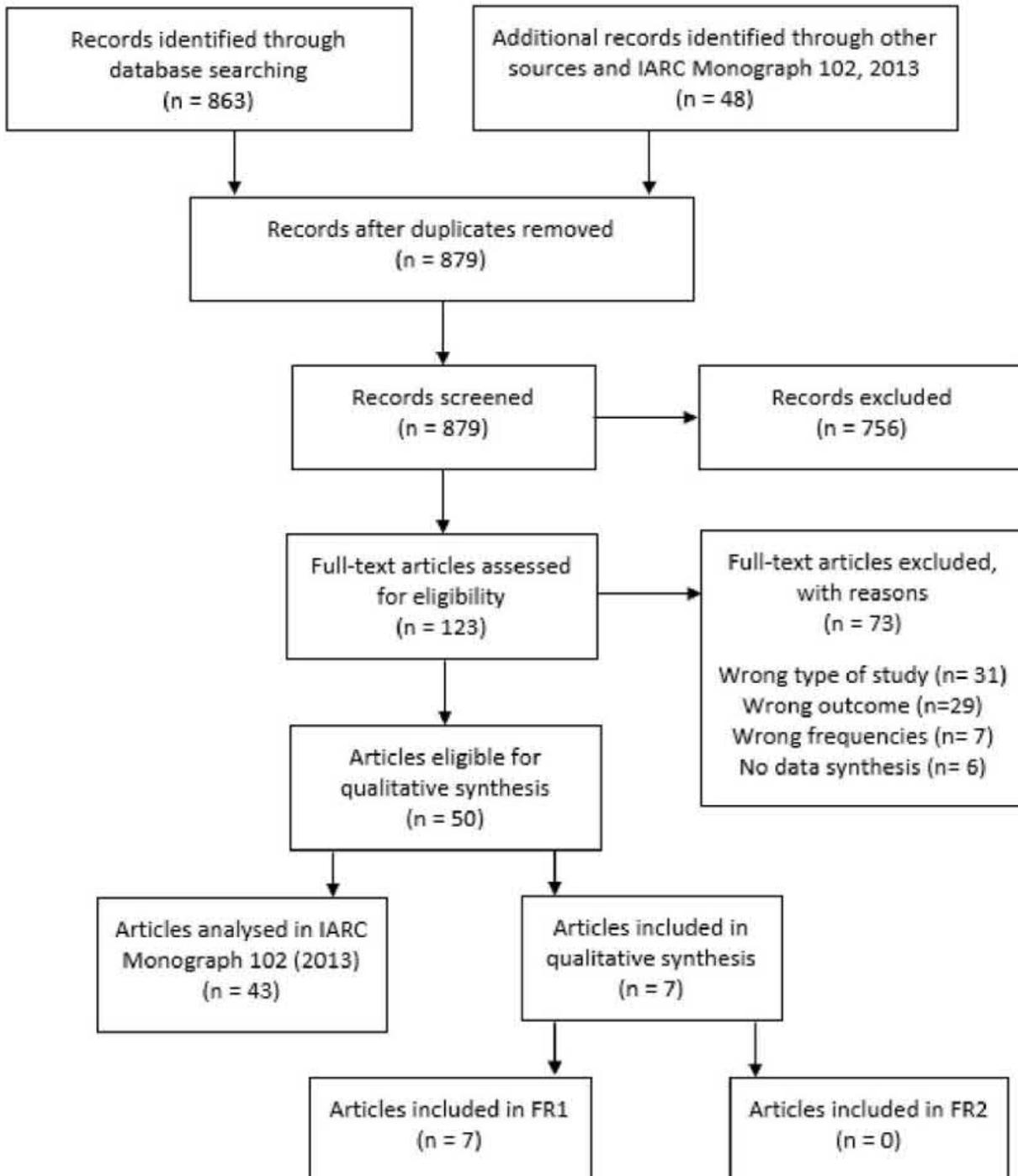
Durch Datenbankrecherchen und andere Quellen wurden 911 Artikel ermittelt. Nach dem Entfernen von Duplikaten (32) und dem Ausschluss nicht relevanter Artikel (756) auf der Grundlage von Titel und Zusammenfassung blieben 123 Artikel übrig. Auf der Grundlage eines Volltextscreenings wurden 73 weitere Artikel ausgeschlossen, so dass die Anzahl der Artikel, die für die Einbeziehung in diese qualitative Synthese geeignet waren, 50 betrug.

Wie im Abschnitt zur Methodik näher erläutert, haben wir die IARC-Monographie 102 (IARC, 2013) als Schlüsselreferenz für alle bis 2011 veröffentlichten Studien über Krebs bei Versuchstieren herangezogen: Alle Originalarbeiten (43), die in die IARC-Monographie aufgenommen wurden, wurden analysiert und in diesem Bericht ebenfalls referenziert; natürlich haben wir für diesen Bericht nur die endgültige IARC-Klassifizierung berücksichtigt. Sieben geeignete Studien wurden nach 2011 veröffentlicht.

In diesem Stadium wurde auch eine Trennung nach Frequenzbereich vorgenommen: Von den 7 einbezogenen Arbeiten berichteten alle über Expositionen, die zu dem in FR1 betrachteten Band gehören, und keine über Expositionen, die FR2 betreffen (Abb. 11).

Für jeden ausgewählten Artikel wird eine Zusammenfassung zusammen mit den Tabellen präsentiert, in denen die wichtigsten Informationen zusammengefasst sind; außerdem bewertete ein hochrangiger Experte die Eignung der Artikel für die Bewertung der karzinogenen Wirkungen (angemessen/unangemessen) und gab eine Gesamtsynthese der Ergebnisse (positiv/negativ/nicht eindeutig) ab, wobei er die im Kapitel zur Methodik beschriebenen Kriterien zugrunde legte.

Figure 11 – Flow diagram. Cancer in experimental animal studies FR1



SCHLÜSSELREFERENZ: IARC 2013 (43 Studien)

Die IARC-Monographie 102 ist die Schlüsselreferenz für die vorliegende Überprüfung. Im Folgenden wird über die Auswertung der damals verfügbaren adäquaten Studien berichtet (IARC, 2013).

Im Mai 2011 trafen sich 30 Wissenschaftler aus 14 Ländern bei der International Agency for Research on Cancer (IARC) in Lyon, Frankreich, um die Karzinogenität hochfrequenter elektromagnetischer Felder (HF-EMF) zu bewerten. Diese Bewertungen wurden als Band 102 der IARC-Monographien veröffentlicht (IARC, 2013).

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

Die Arbeitsgruppe bewertete:

- 7 Zwei-Jahres-Krebs-Bioassays mit HF-Strahlung, zwei an Mäusen und fünf an Ratten; sechs Studien wurden durchgeführt, um die Auswirkungen der Exposition mit Mobilfunk-HF-Metrik zu untersuchen, und eine Studie betraf die Exposition mit gepulster HF-Strahlung. Im Vergleich zu Scheinkontrollen wurde in keiner Studie bei Tieren, die Mobilfunk-HF-Strahlung ausgesetzt waren, ein statistisch signifikanter Anstieg der Inzidenz gutartiger oder bösartiger Neoplasmen an irgendeiner Organstelle festgestellt. In der Studie mit Exposition gegenüber gepulster HF-Strahlung wurde bei Ratten eine erhöhte Inzidenz aller bösartigen Tumore (alle Stellen zusammen) beobachtet; die Arbeitsgruppe betrachtete diesen Befund jedoch als von begrenzter biologischer Signifikanz, da er aus der Zusammenfassung nicht-signifikanter Veränderungen der Tumorzinzenz an mehreren Stellen resultierte. Die Exposition gegenüber HF-Strahlung erhöhte die Gesamtumorzinzenz in keiner der anderen sechs ausgewerteten Studien. Die Arbeitsgruppe kam zu dem Schluss, dass die Ergebnisse der 2-Jahres-Krebs-Bioassays keine Beweise dafür liefern, dass die langfristige Exposition gegenüber HF-Strahlung die Inzidenz gutartiger oder bösartiger Neoplasmen bei standardgezüchteten Mäusen oder Ratten erhöht.

- 12 Studien, die vier verschiedene tumoranfällige Tiermodelle verwendeten; zwei dieser Studien zeigten ein erhöhtes Auftreten von Tumoren bei Tieren, die HF-Strahlung ausgesetzt waren. Die erste Studie mit positiven Ergebnissen zeigte eine erhöhte Inzidenz von Lymphomen bei E μ -Pim1-transgenen Mäusen, die GSM-Mobilfunkstrahlung bei 900 MHz ausgesetzt waren; zwei nachfolgende Studien anderer Forscher, die dasselbe Modellsystem verwendeten, konnten dieses Ergebnis jedoch nicht bestätigen. In der zweiten Studie mit positiven Ergebnissen wurde eine erhöhte Inzidenz von Tumoren der Brustdrüse bei C3H/HeA-Mäusen beobachtet, die HF-Strahlung bei 2450 MHz ausgesetzt waren; zwei spätere Studien mit demselben Expositionsmaß konnten diesen Befund zwar nicht bestätigen, doch wurden diese Folgestudien bei niedrigeren Expositions-niveaus durchgeführt. Die Arbeitsgruppe kam zu dem Schluss, dass die Ergebnisse von Studien an drei tumoranfälligen Tiermodellen (das E μ -Pim1-Mausmodell für Lymphome, das AKR-Mausmodell für Lymphome und das Patched-1-Mausmodell für Hirntumore) die Hypothese nicht stützen, dass die Häufigkeit von Tumoren im Gehirn oder im lymphatischen Gewebe als Folge der Exposition gegenüber HF-Strahlung zunehmen würde.

- 16 Studien zur Initiierung und Förderung der Tumorgenese in Haut, Brustdrüse, Gehirn und lymphatischem Gewebe, die mit Tiermodellen durchgeführt wurden. Keine der fünf Studien mit Hautkrebsmodellen und keine der sechs Studien mit Hirnkrebsmodellen zeigten einen Zusammenhang mit der Exposition gegenüber HF-Strahlung. Eine von vier Studien mit dem Modell des Brustdrüsentumors bei Sprague-Dawley-Ratten ergab positive Ergebnisse; die anderen drei Studien - eine davon mit einem fast identischen Protokoll - zeigten keinen Zusammenhang, obwohl sie das gleiche experimentelle Modell und die gleichen Expositionsbedingungen für HF-Strahlung verwendeten. Auch die Studie mit dem Lymphom-Modell war negativ. Die Arbeitsgruppe kam zu dem Schluss, dass die Beweise aus diesen Studien zur Auslösung und Förderung der Karzinogenese in keinem der untersuchten Gewebe ein konsistentes Muster der Verstärkung der Karzinogenese durch die Exposition mit HF-Strahlung aufzeigen.

- 6 Studien zur Co-Karzinogenese mit fünf verschiedenen Tiermodellen. Es wurden vier positive Reaktionen berichtet. Zwei Studien mit positiven Ergebnissen, eine an Wistar-Ratten, die kontinuierlich MX-haltigem Trinkwasser - einem Nebenprodukt der Wasserdesinfektion - ausgesetzt waren, und eine weitere Studie an trächtigen B6C3F1-Mäusen, denen eine Einzeldosis Ethylnitrosoharnstoff verabreicht wurde, und gleichzeitig der Exposition gegenüber HF-Strahlung von Mobiltelefonen bei 900 bzw. 1966 MHz ausgesetzt waren. Die beiden anderen Studien mit positiven Ergebnissen betrafen die gleichzeitige Exposition von BALB/c-Mäusen gegenüber HF-Strahlung bei 2450 MHz und Benzo[a]pyren. Obwohl der Wert von zwei dieser Studien durch ihre unbekannte Relevanz für Krebs beim Menschen abgeschwächt wurde, kam die Arbeitsgruppe zu dem Schluss, dass sie einige zusätzliche Beweise für die Karzinogenität von HF-Strahlung bei Versuchstieren liefern.

Die Schlussfolgerung für die Bewertung der Tierstudien lautete: "Es gibt begrenzte Beweise für die Karzinogenität hochfrequenter Strahlung bei Versuchstieren" (IARC, 2013).

- ÜBERBLICK ÜBER DIE TIERSTUDIEN 2011-2020

Ausgehend von 2011 werden in der vorliegenden Übersicht die ebenfalls in Tabelle 3 (a, b, c, d) zusammengefassten Tierstudien nach Art der Studie und nach Jahr der Veröffentlichung (2011-2020) bewertet. Die Autorin fügt den kurzen Zusammenfassungen ihre eigenen kurzen Kommentare zu den Ergebnissen der verschiedenen Studien hinzu.

ZWEI JAHRE KREBSBIOASSAY BEI MÄUSEN (Tabelle 8a)

1. NTP TR 596, 2018.

GSM-modulierter HFR, B6C3F1/N-Mäuse (M, F), für 24 Monate, Karzinogenitätsstudie.

Gruppen von 105 männlichen und 105 weiblichen Mäusen wurden in Hallräumen untergebracht und erhielten eine Ganzkörperexposition gegenüber GSM-modulierter Mobilfunk-HFR bei Leistungspegeln von 0 (Scheinkontrolle), 2,5, 5 oder 10 W/kg, 9 Stunden und 10 Minuten pro Tag, 7 Tage pro Woche für 106 (Männchen) oder 108 (Weibchen) Wochen mit einem kontinuierlichen Zyklus von 10 Minuten an und 10 Minuten aus während eines Zeitraums von 18 Stunden und 20 Minuten pro Tag. Die Scheinkontrolltiere waren in Hallräumen untergebracht, die mit denen der exponierten Gruppen identisch waren, wurden aber nicht mit HFR exponiert; gemeinsame Gruppen von nicht exponierten Mäusen jedes Geschlechts dienten als Scheinkontrollen für beide HFR-Modulationen. Fünfzehn Mäuse pro Gruppe wurden nach 10 Wochen Studie zufällig aus der Kerngruppe ausgewählt; 10 dieser 15 Mäuse pro Gruppe wurden für eine Zwischenauswertung nach 14 Wochen verwendet, und fünf Mäuse pro Gruppe wurden für genetische Toxizitätstests nach 14 Wochen verwendet. Die verbleibenden 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 bei der Scheinkontrollgruppe. Die Überlebensrate der anderen exponierten Gruppen von männlichen und weiblichen Tieren war im Allgemeinen ähnlich wie die der Scheinkontrollen. Die mittleren Körpergewichte der exponierten Gruppen von männlichen und weiblichen Tieren waren während der gesamten Studie ähnlich wie die der Scheinkontrollen. Die kombinierte Inzidenz von Fibrosarkom, Sarkom oder malignem fibrösem Histiocytom der Haut war bei den Männchen mit 5 und 10 W/kg erhöht, wenn auch nicht signifikant oder in einer SAR-bezogenen Art und Weise; die Inzidenz lag jedoch über den gesamten historischen Kontrollbereichen für malignes fibröses Histiocytom. In der Lunge war bei den Männchen ein signifikanter positiver Trend bei der Inzidenz von alveolären/bronchiolären Adenomen oder Karzinomen (kombiniert) festzustellen. Im Vergleich zu den Scheinkontrollen wiesen alle exponierten Gruppen von Weibchen eine erhöhte Inzidenz von malignen Lymphomen auf, wobei die Inzidenzen in den Gruppen mit 2,5 und 5 W/kg signifikant erhöht waren. Die Scheinkontrollgruppe wies eine niedrige Inzidenz maligner Lymphome auf, verglichen mit dem Bereich, der bei historischen Kontrollen beobachtet wurde. Es gab keine nicht-neoplastischen Läsionen, die mit der Exposition durch GSM-modulierte Mobilfunk-HFR in Verbindung gebracht werden konnten.

2. NTP TR 596, 2018.

CDMA-modulierte HFR, B6C3F1/N-Mäuse (M, F), für 24 Monate, Karzinogenitätsstudie.

Gruppen von 105 männlichen und 105 weiblichen Mäusen wurden in Hallräumen untergebracht und erhielten Ganzkörperexpositionen gegenüber CDMA-modulierter Mobilfunk-HFR bei Leistungspegeln von 0 (Scheinkontrolle), 2,5, 5 oder 10 W/kg, 9 Stunden und 10 Minuten pro Tag, 7 Tage pro Woche für 106 (Männchen) oder 108 (Weibchen) Wochen mit kontinuierlichen Zyklen von 10 Minuten an und 10 Minuten aus während eines Zeitraums von 18 Stunden und 20 Minuten pro Tag. Die Scheinkontrolltiere waren in Hallräumen untergebracht, die mit denen der exponierten Gruppen identisch waren, wurden aber nicht mit HFR exponiert; gemeinsame Gruppen von nicht exponierten Mäusen jedes Geschlechts dienten als Scheinkontrollen für beide HFR-Modulationen. Fünfzehn Mäuse pro Gruppe wurden nach 10 Wochen Studie zufällig aus der Kerngruppe ausgewählt; 10 dieser 15 Mäuse pro Gruppe wurden für eine Zwischenauswertung nach 14 Wochen verwendet, und fünf Mäuse pro Gruppe wurden für genetische Toxizitätstests nach 14 Wochen verwendet. Die verbleibenden 90 Tiere pro Gruppe wurden bis zu 2 Jahren exponiert. Die prozentuale Überlebensrate war bei männlichen Tieren mit 2,5 W/kg signifikant höher als bei den Scheinkontrollen in der 2-Jahres-Studie. Die Überlebensrate der männlichen und weiblichen Tiere in allen anderen exponierten Gruppen war im Allgemeinen ähnlich wie die der Scheinkontrollen. Die mittleren Körpergewichte der exponierten Gruppen von Männern und Frauen waren während der gesamten Studie mit denen der Scheinkontrollen vergleichbar. Es gab eine signifikant erhöhte Inzidenz von Hepatoblastomen bei 5 W/kg-Männchen. Im Vergleich zu den Scheinkontrollen war die Inzidenz von malignen Lymphomen in allen exponierten Gruppen von Weibchen erhöht, und der Anstieg war signifikant in der Gruppe mit 2,5 W/kg. Wie in der GSM-Studie festgestellt, wies die gemeinsame Scheinkontrollgruppe eine niedrige Inzidenz von malignen Lymphomen auf.

Es gab keine nicht-neoplastischen Läsionen, die mit der Exposition gegenüber CDMA-modulierter Mobilfunk-HFR in Verbindung gebracht wurden.

Umfassende Zusammenfassung: Unter den Bedingungen dieser 2-Jahres-Studien gab es mehrdeutige Hinweise auf eine karzinogene Aktivität von GSM-moduliertem Mobilfunk bei 1.900 MHz bei männlichen B6C3F1/N-Mäusen, basierend auf 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 Hinweise auf eine karzinogene Wirkung von GSM-modulierter Mobilfunk-HFR bei 1.900 MHz, basierend auf dem Auftreten von malignen Lymphomen (alle Organe). Es gab mehrdeutige Hinweise auf eine karzinogene Wirkung von CDMA-moduliertem Mobilfunk bei 1.900 MHz bei männlichen B6C3F1/N-Mäusen, basierend auf dem Auftreten von Hepatoblastomen in der Leber. Es gab mehrdeutige Hinweise auf eine karzinogene Aktivität von CDMA-moduliertem Mobilfunk bei 1.900 MHz bei weiblichen B6C3F1/N-Mäusen, basierend auf dem Auftreten von malignen Lymphomen (alle Organe).

Umfassender Kommentar: Äquivokale Beweise für Karzinogenität bei Mäusen für GSM- und CDMA-modulierter HFR.

ZWEI-JAHRES-KREBS-BIOASSAY BEI RATTEN (Tabelle 9 a)

3. NTP TR 595, 2018.

GSM-modulierte HFR, Harlan SD Ratten (M, F), pränatale Exposition für 24 Monate, Karzinogenitätsstudie.

Beginnend am 5. GD wurden Gruppen von 56 zeitlich angepassten weiblichen F0-Ratten in speziell entworfenen Hallräumen untergebracht und erhielten Ganzkörperexpositionen bei GSM-modulierter Mobilfunk-HFR mit Leistungspegeln von 0 (Scheinkontrolle), 1,5, 3 oder 6 W/kg für 7 Tage pro Woche, die während der gesamten Trächtigkeit und Laktation fortgesetzt wurden. Die Exposition betrug bis zu 18 Stunden und 20 Minuten pro Tag mit einem kontinuierlichen Wechsel von 10 Minuten an und 10 Minuten aus während der Expositionszeit. Es gab sieben Expositionsgruppen pro Geschlecht, einschließlich einer gemeinsamen Scheinkontrolle und drei Expositionsgruppen für jede Modulation. Zum Zeitpunkt der Entwöhnung wurden drei männliche und drei weibliche Tiere pro Wurf aus 35 Würfen zufällig pro Expositionsgruppe für die Fortsetzung der Exposition ausgewählt. Die Entwöhnung erfolgte an dem Tag, an dem der letzte Wurf PND 21 erreichte, was den Beginn der zweijährigen Studien markierte. Gruppen von 105 männlichen und 105 weiblichen F1-Nachkommen wurden bis zu 104 Wochen lang an 7 Tagen pro Woche bei denselben Leistungspegeln und unter demselben Expositionsparadigma mit GSM-modulierter Mobilfunk-HFR ganzkörperlich exponiert. Nach 14 Wochen Exposition wurden 10 Ratten pro Gruppe nach dem Zufallsprinzip für eine zwischenzeitliche histopathologische Bewertung ausgewählt und fünf wurden für die Bewertung der genetischen Toxizität bestimmt. Am Ende der 2-Jahres-Studien wurde im Herzen in allen exponierten männlichen Gruppen und in der weiblichen Gruppe mit 3 W/kg ein malignes Schwannom (synonym Neurinom) beobachtet, während in den Scheinkontrollen kein solches auftrat. Eine endokardiale Schwann-Zell-Hyperplasie trat auch bei einem einzelnen 1,5 W/kg-Männchen und zwei 6 W/kg-Männchen auf. Es gab auch ein signifikant erhöhtes Auftreten von Kardiomyopathie des rechten Ventrikels bei männlichen und weiblichen Tieren mit 3 und 6 W/kg. Im Gehirn von Männchen gab es eine erhöhte Inzidenz von malignen Gliomen und Gliazellen-Hyperplasie in allen exponierten Gruppen, aber keine in den Scheinkontrollen. Es gab auch ein erhöhtes Auftreten von gutartigen oder bösartigen Granularzelltumoren in allen exponierten Gruppen. Es gab eine signifikant erhöhte Inzidenz von gutartigen Phäochromozytomen und gutartigen, bösartigen oder komplexen Phäochromozytomen (kombiniert) des Nebennierenmarks bei Männchen, die bei 1,5 oder 3 W/kg exponiert wurden. Im Nebennierenmark von weiblichen Tieren, die bei 6 W/kg exponiert wurden, gab es eine signifikant erhöhte Inzidenz von Hyperplasie. In der Prostata männlicher Ratten gab es eine erhöhte Inzidenz von Adenomen oder Karzinomen (kombiniert) bei männlichen Tieren, die mit 3 W/kg exponiert waren, und Epithel-Hyperplasie in allen exponierten männlichen Gruppen. In der Hypophyse (Pars distalis) gab es erhöhte Inzidenzen von Adenomen in allen exponierten männlichen Gruppen. Es gab auch eine erhöhte Inzidenz von Adenomen oder Karzinomen (kombiniert) der Pankreasinseln in allen exponierten Gruppen männlicher Ratten, aber nur die Inzidenz in der 1,5 W/kg-Gruppe war signifikant. Bei weiblichen Ratten gab es eine signifikant erhöhte Inzidenz von C-Zell-Hyperplasie der Schilddrüse in allen exponierten Gruppen und eine signifikant erhöhte Inzidenz von Hyperplasie der Nebennierenrinde in den Gruppen mit 3 und 6 W/kg.

GSM-modulierte Hochfrequenzstrahlung: Unter den Bedingungen dieser zweijährigen Ganzkörperexpositionsstudie gab es eindeutige Hinweise auf die karzinogene Wirkung von GSM-modulierter Mobilfunk-Hochfrequenzstrahlung bei 900 MHz bei männlichen Hsd:Sprague-Dawley-SD-Ratten, basierend auf dem Auftreten von malignen Schwannomen des Herzens. Das Auftreten von bösartigen Gliomen des Gehirns und von gutartigen, bösartigen oder komplexen Phäochromozytomen (kombiniert) des Nebennierenmarks wurde ebenfalls mit der HFR-Exposition in Verbindung gebracht. Das Auftreten von gut- oder bösartigen Granularzelltumoren des Gehirns, Adenom oder Karzinom (kombiniert) der Prostata, Adenom der Pars distalis der Hypophyse und Adenom oder Karzinom der Inselzellen der Bauchspeicheldrüse (kombiniert) könnten mit der HF-Exposition zusammenhängen. Es gab mehrdeutige Hinweise auf eine karzinogene Aktivität von GSM-moduliertem Mobilfunk bei 900 MHz bei weiblichen Hsd:Sprague-Dawley-SD-Ratten, basierend auf dem Auftreten von Schwannomen am Herzen. Eine Zunahme von nicht-neoplastischen Läsionen des Herzens, des Gehirns und der Prostata bei männlichen Ratten und des Herzens, der Schilddrüse und der Nebenniere bei weiblichen Ratten trat bei Expositionen mit GSM-modulierter HFR bei 900 MHz auf.

Kommentar: Positiver Nachweis von Karzinogenität für bösartige Schwannome (Neurinome) des Herzens im Zusammenhang mit HF-EMF-Exposition im Nahfeld (GSM-modulierter HFR); das Auftreten von bösartigen Gliomen des Gehirns und von gutartigen, bösartigen oder komplexen Phäochromozytomen (kombiniert) des Nebennierenmarks wurde ebenfalls mit HF-Exposition in Verbindung gebracht. Anmerkung: Hirntumore und Neurinome sind auch in epidemiologischen Studien erhöht.

4. Falcioni et al. (2018).

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

Männliche und weibliche Sprague-Dawley-Ratten wurden vom pränatalen Leben bis zum natürlichen Tod bei einem 1,8 GHz GSM-Fernfeld von 0, 5, 25, 50 V/m mit einer Ganzkörperexposition für 19 h/Tag exponiert. Bei der höchsten Dosis (50 V/m) wurde bei den behandelten männlichen Ratten ein statistisch signifikanter Anstieg des Auftretens von Herzschnannomen beobachtet. Darüber hinaus wurde bei behandelten männlichen und weiblichen Ratten bei der höchsten Dosis (50 V/m) ein Anstieg der Inzidenz von Herzschnannzellen-Hyperplasie beobachtet, der jedoch statistisch nicht signifikant war. Bei behandelten weiblichen Ratten wurde bei der höchsten Dosis (50 V/m) ein Anstieg der Häufigkeit bösartiger Glia-Tumore beobachtet, der jedoch statistisch nicht signifikant war. Die Ergebnisse der RI-Studie (Ramazzini-Institut) über die Fernfeldexposition gegenüber HFR stimmen mit den Ergebnissen der NTP-Studie über die Nahfeldexposition überein und verstärken diese, da in beiden Studien ein Anstieg der Häufigkeit von Tumoren des Gehirns und des Herzens bei HFR-exponierten Sprague-Dawley-Ratten festgestellt wurde. Diese Tumore sind vom gleichen Histotyp wie diejenigen, die in einigen epidemiologischen Studien über Mobiltelefonnutzer beobachtet wurden. Diese experimentellen Studien liefern genügend Beweise, um eine Neubewertung der IARC-Schlussfolgerungen bezüglich des karzinogenen Potenzials von HFR beim Menschen zu fordern.

Kommentar: Positiver Beweis für einen Zusammenhang von HF-EMF im Fernfeld (Umwelt) mit einer Zunahme von Herzschnannomen (Neurinom ist ein Synonym) [Veröffentlichung der gesamten Studie ist im Gange]. Anmerkung: Hirntumore und Neurinome werden auch in epidemiologischen Studien vermehrt beobachtet.

TUMORANFÄLLIGE MÄUSE (Tabelle 10 a)

5. Lee et al., 2011

AKR/J-Mäuse (M, F), 42 Wochen (~10 Monate), Lymphom-anfällig.

Es wurden die karzinogenen Wirkungen von kombinierten HF-EMF-Signalen auf AKR/J-Mäuse untersucht, die für das Lymphom-Tiermodell verwendet wurden. Sechs Wochen alte AKR/J-Mäuse wurden gleichzeitig von zwei Arten von HF-Signalen exponiert: Single Code Division Multiple Access (CDMA) und Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA). AKR/J-Mäuse wurden 45 Minuten/Tag, 5 Tage/Woche und insgesamt 42 Wochen lang bei kombinierten HF-EMF exponiert. Die durchschnittliche spezifische Ganzkörper-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 Lymphom-Inzidenz und der Splenomegalie-Inzidenz wurden keine Unterschiede zwischen schein- und HF-exponierten Mäusen festgestellt. Allerdings war das Auftreten von Metastaseninfiltration ins Gehirn bei Lymphom-tragenden Mäusen signifikant anders als bei HF-exponierten Mäusen im Vergleich zu scheinexponierten Mäusen,

auch wenn keine konsistente Korrelation (Zunahme oder Abnahme) zwischen männlichen und weiblichen Mäusen beobachtet wurde. Das Auftreten von Infiltrationen in Leber, Lunge und Milz war jedoch zwischen den Gruppen nicht unterschiedlich. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die gleichzeitige Exposition mit CDMA- und WCDMA-HF-EMF keinen Einfluss auf die Entwicklung von Lymphomen bei AKR/J-Mäusen hat

Kommentar: Kurze Expositions-Dauer. Die Exposition hatte keinen Einfluss auf die Lymphom-Entwicklung in AKR/J-Mäusen.

PROMOTIONSSTUDIEN AN MÄUSEN (Tabelle 11a)

6. Lerchl et al., 2015, B6C3F1-Mäuse (F), 24 Monate, Promotionsstudie.

(Tillmann et al., 2010) deuteten auf tumorfördernde Effekte von HF-EMF hin. Eine Wiederholungsstudie mit einer höheren Anzahl von Tieren pro Gruppe und zwei zusätzlichen Expositionsniveaus (0 (Schein), 0,04, 0,4 und 2 W/kg SAR) wurde durchgeführt. Die Anzahl der Tumore in Lunge und Leber war bei den exponierten Tieren signifikant höher als bei den scheinexponierten Kontrollen. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass auch Lymphome durch die Exposition signifikant erhöht waren. Ein klarer Dosis-Wirkungs-Effekt war nicht vorhanden. Wir stellen die Hypothese auf, dass diese tumorfördernden Wirkungen durch expositionsbedingte Stoffwechseleränderungen verursacht werden könnten. Da viele der tumorfördernden Wirkungen in unserer Studie bei niedrigen bis moderaten Expositionsniveaus (0,04 und 0,4 W/kg SAR) beobachtet wurden, also weit unterhalb der Expositionsgrenzwerte für die Nutzer von Mobiltelefonen, sind weitere Studien gerechtfertigt, um die zugrunde liegenden Mechanismen zu untersuchen. Unsere Ergebnisse könnten dazu beitragen, die wiederholt berichteten erhöhten Inzidenzen von Hirntumoren bei Vieltelefonierern zu verstehen.

Anmerkung: Die Studie repliziert nicht genau die Studie von Tillmann et al. (2010). Sie zeigt positive Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Lungen-, Lebertumoren und Lymphomen mit der Exposition gegenüber HF-EMF.

Table 8 – Cancer in experimental animals: two years cancer bioassays in mice (450–6000 MHz) (a)

Reference, Strain, Species (sex), Duration, Type of study	RF Exposure Level Frequencies, Intensities; Any Other Co-Exposure	Exposure time, No. of Animals	Increased Tumour Incidence (Significance)	Comments
1. NTP TR 596 , B6C3F1/N mice (M, F), prenatal exposure for 24 months; carcinogenicity study, 2018	GSM, (1900 MHz), 2.5, 5, and 10 W/Kg	9 h/day, 7 days/week, 105/sex/group	Combined incidences of fibrosarcoma, sarcoma, or malignant fibrous histiocytoma in the skin and the incidences of alveolar/bronchiolar adenoma or carcinoma (combined) in the lung. In females increased incidences of malignant lymphoma (all organs).	Adequate, equivocal
2. NTP TR 596 , B6C3F1/N mice (M, F), prenatal exposure for 24 months; carcinogenicity study, 2018	CDMA (1900 MHz), 2.5, 5, and 10 W/Kg	9 h/day, 7 days/week, 105/sex/group	Hepatoblastoma of the liver. In female increased incidences of malignant lymphoma (all organs).	Adequate, equivocal

Table 9 – Cancer in experimental animals: two years cancer bioassays in rats (450-6000 MHz) (a)

Reference, Strain, Species (sex), Duration, Type of study	RF Exposure Level Frequencies, Intensities; Any Other Co-Exposure	Exposure time, No. of Animals	Increased Tumour Incidence (Significance)	Comments
3. NTP TR 595 , SD rats (M, F), prenatal exposure for 24 months, carcinogenicity study, 2018	GSM, CDMA (900 MHz), 1.5, 3, 5 W/kg	9 h/day, 7 days/week, 105/sex/group	Male brain glioma, heart Schwannoma, and combined adrenal pheochromocytoma (p < 0.05)	Adequate, positive for heart Schwannomas and brain tumours; positive for adrenal tumours
4. NTP TR 595 , SD rats (M, F), prenatal exposure for 24 months, carcinogenicity study, 2018	GSM, CDMA (900 MHz), 1.5, 3, 5 W/kg	9 h/day, 7 days/week, 105/sex/group	Male brain glioma, heart Schwannoma, and combined adrenal pheochromocytoma (p < 0.05)	Adequate, positive for heart Schwannomas and brain tumours; positive for adrenal tumours
5. Falcioni et al., 2018 , SD rats (M, F), prenatal exposure until spontaneous death, carcinogenicity study	GSM (1800 MHz), 0.1, 0.03, 0.001 W/Kg	19 h/day, 7 days/week, 200,400 /sex/group	Male heart Schwannoma (p < 0.05) and female brain glioma	Adequate, positive for heart Schwannomas; borderline for brain tumours

Table 10a - Cancer in experimental animals: tumour-prone mice (450-6000 MHz) (a)

Reference, Strain, Species (sex), Duration, Type of study	RF Exposure Level Frequencies, Intensities; Any Other Co-Exposure	Exposure time, No. of Animals	Increased Tumour Incidence (Significance)	Comments
6. Lee et al., 2011, AKR/J mice (M, F), 42 weeks (~10 months), Lymphoma-prone	CDMA (849 MHz) and WCDMA (1950 MHz), 4 W/kg (combined)	45 min/day, 5 days/week, 40/sex/group	No statistically significant increase in tumour incidence	Inadequate (Short daily exposure)

Table 10b - Cancer in experimental animals: promotion studies in mice (450-6000 MHz) (a)

Reference, Strain, Species (sex), Duration, Type of study	RF Exposure Level Frequencies, Intensities; Any Other Co-Exposure	Exposure time, No. of Animals	Increased Tumour Incidence (Significance)	Comments
7. Lerchl et al., 2015, B6C3F1 mice (F), 24 months, Promotion study	UMTS fields, 0.04, 0.4 and 2.0 W/kg; prenatal ENU 40mg/kg b.w.	23.5 h/day, 7 days/week, 96/group	Female lymphoma, lung adenoma and carcinoma, liver carcinoma (tumour promotion) (p < 0.05)	Adequate, positive

Table 11 (summary tables 8-10) - Collected data for experimental studies on Cancer (FR1: 450-6000 MHz)

Observed Tumour	7							
	Rat				Mouse			
Adequate studies	7							
Observed Tumour	Total adequate studies ^a	Positive results	Equivocal results	Negative results	Total adequate studies ^b	Positive results	Equivocal results	Negative results
Glioma	3	2	1					
Heart Schwannoma	3	3						
Alveolar-bronchiolar adenoma, carcinoma					3	1	2	
Liver tumours	2		1		3	1	2	
Adrenal pheochromocytoma	2	2						
Pancreatic islet adenoma+carcinoma	2		2					
Prostate adenoma+carcinoma	2		2					
Pituitary gland adenoma	2		2					
Lymphoma					4	1	2	1
Fibrosarcoma, fibro-histiocytic sarcoma of the skin					3		2	

*Some of the studies include more than one tumour site. ^a 1 study published only partial results on brain and heart. ^b1 study on lymphoma prone mice

ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE VON KREBSSTUDIEN BEI TIEREXPERIMENTEN (FR1: 450 bis 6000 MHZ) (Tabelle 11)

Auf der Grundlage eines Volltextscreenings wurden 50 Artikel ausgewählt, deren Häufigkeit für die Einbeziehung in diese qualitative Synthese geeignet war. Wie im Abschnitt zur Methodik näher erläutert, haben wir die IARC-Monographie 102 (IARC, 2013) als Schlüsselreferenz für alle bis 2011 veröffentlichten Studien zu Krebs bei Versuchstieren herangezogen: Alle Originalarbeiten (43), die in die IARC-Monographie aufgenommen wurden, wurden analysiert und in diesem Bericht ebenfalls referenziert; natürlich haben wir für diesen Bericht nur die endgültige IARC-Klassifizierung berücksichtigt. Sieben geeignete Studien wurden nach 2011 veröffentlicht. Aus der vorliegenden Überprüfung wurden 7 Studien zur Karzinogenität bei Versuchstieren ausgewählt. 4 Studien wurden an Mäusen durchgeführt, 3 an Ratten. Zusammenfassungen der Ergebnisse sind in Tabelle 27 dargestellt.

Die Ergebnisse der 7 geeigneten Studien waren:

Karzinogenität bei Mäusen:

Zwei adäquate Karzinogenitätsstudien wurden durchgeführt, um mögliche nicht-thermische schädliche Auswirkungen 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 Mobilfunk-HFR bei 1.900 MHz bei männlichen B6C3F1/N-Mäusen zeigte einen positiven Zusammenhang der HF-EMF-Exposition mit dem kombinierten Auftreten von Fibrosarkom, Sarkom oder malignem fibrösem Histiozytom in der Haut und dem Auftreten von alveolären/bronchiolären Adenomen oder Karzinomen (kombiniert) in der Lunge. Bei weiblichen B6C3F1/N-Mäusen gab es mehrdeutige Hinweise auf eine karzinogene Wirkung auf der Grundlage der Häufigkeit von malignen Lymphomen (alle Organe).

Ref: 2: Bei männlichen B6C3F1/N-Mäusen gab es mehrdeutige Hinweise auf eine karzinogene Wirkung von CDMA-modulierter Mobilfunk-HFR bei 1.900 MHz, basierend auf dem Auftreten von Hepatoblastomen in der Leber. Bei weiblichen B6C3F1/N-Mäusen gab es mehrdeutige Hinweise auf eine karzinogene Wirkung von CDMA-modulierter Mobilfunk-HFR bei 1.900 MHz, basierend auf dem Auftreten von malignen Lymphomen (alle Organe).

Zwei Studien mit unterschiedlichem Tiermodell und Design wurden ebenfalls an Mäusen durchgeführt:

Ref: 6: Eine Studie an Lymphom-anfälligen Mäusen zeigte keine Zunahme von Lymphomen (kein Nachweis).

Ref: 7: eine zweijährige Promotionsstudie zeigte eine statistisch signifikante Zunahme von Tumoren der Lunge und der Leber bei exponierten Tieren. Außerdem wurde eine signifikante Zunahme von Lymphomen festgestellt (positive Association).

Karzinogenität bei Ratten:

Drei adäquate Karzinogenitätsstudien wurden durchgeführt, um mögliche nicht-thermische schädliche Auswirkungen 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 Studie (teilweise veröffentlicht) vom Ramazzini-Institut in Italien (Ref: 5).

Der überzeugendste Beweis für die drei Studien ist die statistisch signifikante Zunahme (positive Assoziation) von Hirntumoren (Ref: 3, 4), die durch die *mehrdeutige Assoziation* desselben Tumors in der dritten Studie (Ref: 5) und die statistisch signifikante Zunahme eines sehr seltenen Tumors des Herzens, des malignen Schwannoms, in allen drei Studien (*positive Assoziation*) unterstützt wird. Die Zunahme des Phäochromozytoms der Nebenniere war statistisch signifikant (*positive Assoziation*), und Inseladenom+Karzinom der Bauchspeicheldrüse, Prostataadenom+Karzinom sowie Hypophysenadenom waren ebenfalls in den behandelten Gruppen erhöht (Ref: 3, 4) (*mehrdeutige Assoziation*).

FR1: Unsere Überprüfung der experimentellen Studien an Ratten und Mäusen zeigt einen ausreichenden Beweis für die Karzinogenität von HF-EMF bei niedrigen Frequenzen (FR1). Die Beobachtung von Tumoren des Nervensystems (zentral und peripher) bei männlichen Ratten ist von besonderer Bedeutung, da sie die Ergebnisse der epidemiologischen Studien unterstützt.

4.1.4 Krebs bei Versuchstieren: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW).

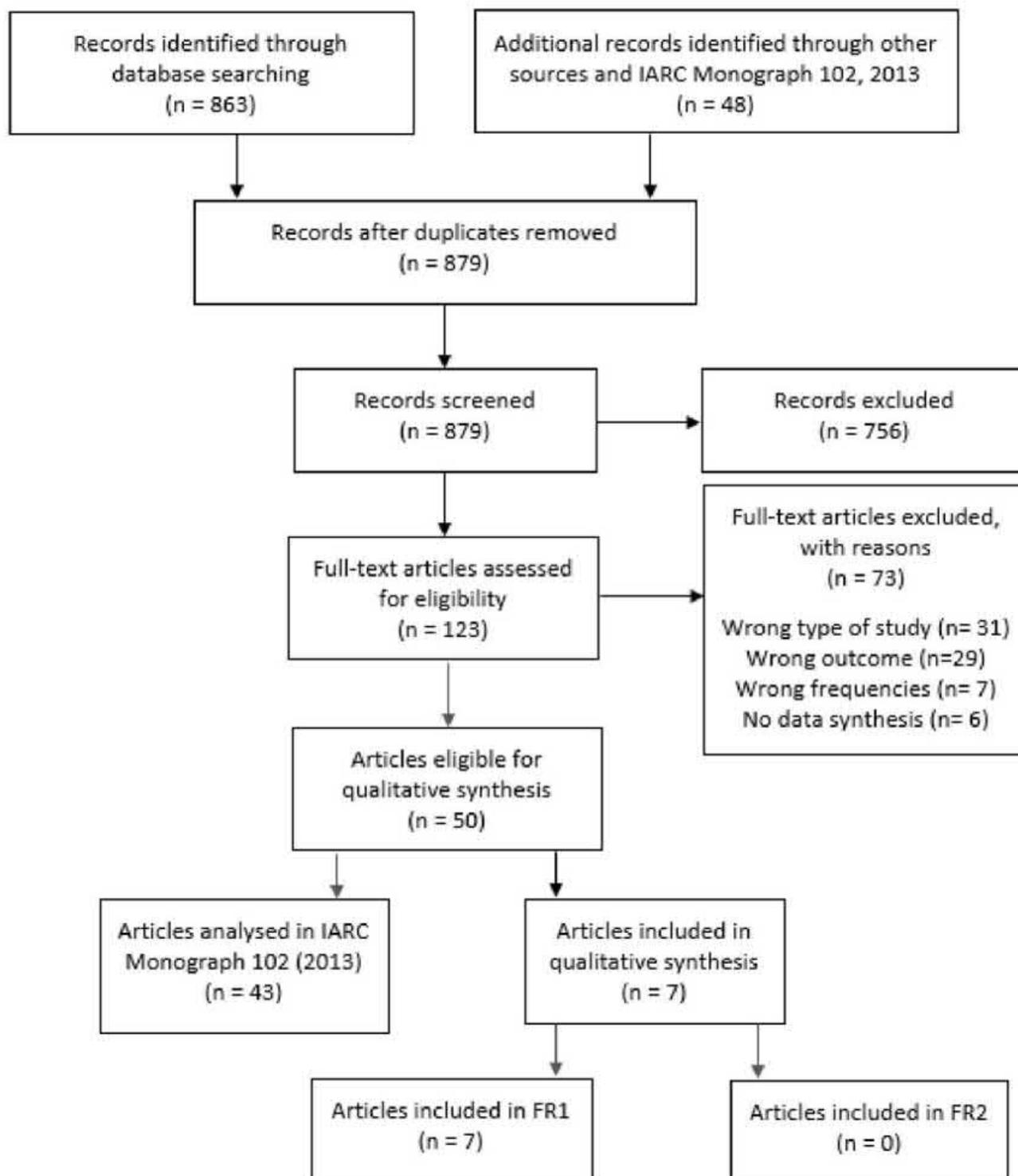
Durch Datenbankrecherchen und andere Quellen wurden 911 Artikel ermittelt. Nach dem Entfernen von Duplikaten (32) und dem Ausschluss nicht relevanter Artikel (756) auf der Grundlage von Titel und Zusammenfassung blieben 123 Artikel übrig. Auf der Grundlage eines Volltextscreenings wurden 73 weitere Artikel ausgeschlossen, so dass die Anzahl der Artikel, die für die Einbeziehung in diese qualitative Synthese geeignet waren, 50 betrug (Abb. 12).

Wie im Abschnitt zur Methodik näher erläutert, haben wir die IARC-Monographie 102 (IARC, 2013) als Schlüsselreferenz für alle bis 2011 veröffentlichten Studien zu Krebs bei Versuchstieren herangezogen: Alle Originalarbeiten (43), die in die IARC-Monographie aufgenommen wurden, wurden analysiert und auch in diesem Bericht referenziert; natürlich haben wir für diesen Bericht nur die endgültige IARC-Klassifizierung berücksichtigt. Sieben geeignete Studien wurden nach 2011 veröffentlicht.

In diesem Stadium wurde auch eine Trennung nach Frequenzbereich vorgenommen: Von den 7 einbezogenen Arbeiten berichteten alle über Expositionen, die zu dem in FR1 betrachteten Frequenzbereich gehören, und keine über Expositionen, die den Frequenzbereich in FR2 betreffen.

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

Figure 12 – Flow diagram. Cancer in experimental animal studies FR2



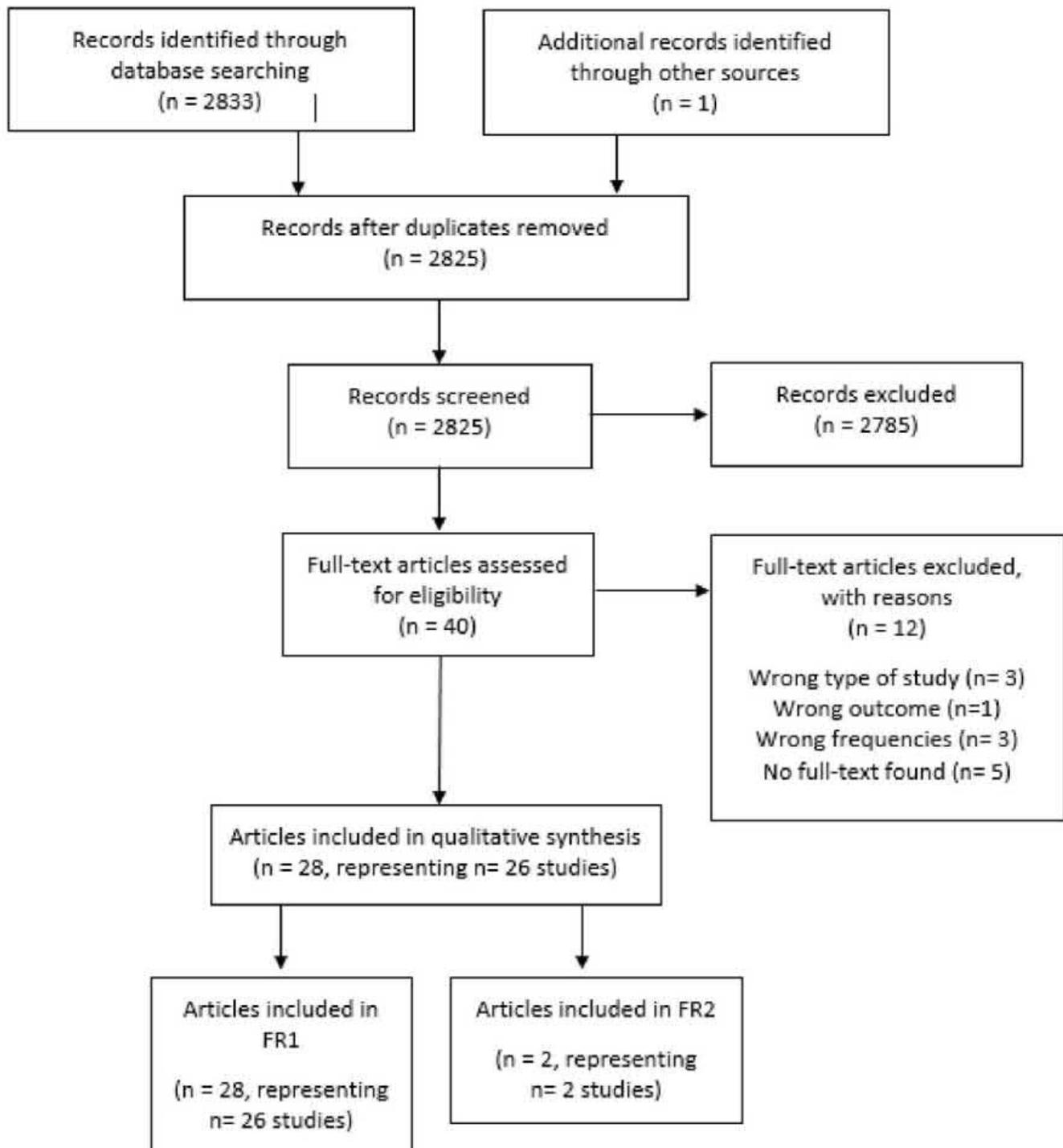
4.2 Schädliche Wirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung nach Frequenzbereich

4.2.1 Reproduktions-/Entwicklungsbeeinträchtigungen in epidemiologischen Studien: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6000 MHz), der auch die in den zellularen Breitbandnetzen der vorherigen Generationen (1G, 2G, 3G und 4G) verwendeten Frequenzen umfasst.

Bei der Suche in der Datenbank und anderen Quellen wurden 2834 Artikel gefunden. Nach dem Entfernen von Duplikaten (9) und dem Ausschluss nicht relevanter Artikel (2785) auf der Grundlage des Titels und der Zusammenfassungen blieben 40 Artikel übrig. Auf der Grundlage eines Volltextscreenings wurden 12 weitere Artikel ausgeschlossen, so dass die veröffentlichten Artikel mit einer angemessenen Häufigkeit für diese qualitative Synthese 28 waren, was 26 Studien entspricht (in zwei Fällen wurden zwei Artikel veröffentlicht, die Informationen über dieselbe Studie enthielten) (Abb. 13).

In diesem Stadium wurde auch eine Auswahl auf der Grundlage des Häufigkeitsbereichs vorgenommen: 28 Arbeiten/26 Studien bezogen sich auf Expositionen, die in den FR1-Bereich gehören, und 2 bezogen sich auch auf FR2. Diese beiden Arbeiten berichten über Expositionen, die sowohl für FR1 als auch für FR2 geeignet sind, so dass sie sich nicht zur Gesamtzahl der eingeschlossenen Studien addieren; dieselbe Studie wird daher zweimal analysiert, einmal in jedem Frequenzbereich.

Figure 13 – Flow diagram. Epidemiological studies on reproductive/developmental effects FR1



MÄNNLICHE FERTILITÄT

Fall-Kontroll-Studien (Tabellen 12a)

1. Al-Quzwini et al., 2016.

Irak. Fall-Kontroll-Studie.

Eine Analyse der Samenflüssigkeit ist ein klinischer Marker für das männliche Fortpflanzungspotenzial. Es sollte herausgefunden werden, ob Umweltrisiken wie Mobilfunkmasten einen Einfluss auf die männliche Fortpflanzungsfähigkeit haben. Zweihundert Paare wurden eingeschlossen, hundert subfertilen Paaren als Studiengruppe (n=100) und hundert fruchtbaren Paaren als Kontrollgruppe (n= 100). Die Umweltexposition durch elektromagnetische Strahlung von Mobilfunktürmen und der berufliche Zustand wurden mit einem Standardfragebogen erfasst. Die Samenanalyse wurde bei den subfertilen Männern durchgeführt, da die fruchtbaren Männer (Kontrollgruppe) die Abgabe von Samenproben verweigerten. Bei der beruflichen Gefährdung zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der subfertilen und der Kontrollgruppe (38 % gegenüber 12 %) ($p < 0,05$), mit einer Odds Ratio (OR) = 4,5 und einem 95% igen Konfidenzintervall (CI): 2,175-9,288, und auch der Umweltfaktor (Mobilfunkmasten im Umkreis von fünfzig Metern von ihrem Haus) zeigte einen signifikanten Unterschied (29 % gegenüber 12 %) ($p < 0,05$), mit OR= 3; 95% CI: 1,426-6,290. Die SFA der subfertilen Männer war zu 40 % abnormal im Vergleich zu 60 % normaler Spermaanalse. Diese Anomalien wurden in 35 % Oligozoospermie, 55 % Asthenospermie und 10 % Teratozoospermie eingeteilt. Oligozoospermie war mit einem höheren Berufsrisiko verbunden (OR= 1,8, 95% CI: 0,569-5,527). Teratozoospermie war mit einem höheren Berufsrisiko (OR= 5,23, 95% CI: 0,524-52,204) und mit der Exposition gegenüber Umweltrisiken (OR = 2,6, 95% CI: 0,342- 19,070) sowie mit dem Rauchen (OR = 1,7, 95% CI: 0,225-12,353) verbunden. Die männliche Fruchtbarkeit, die durch die Qualität des Spermas repräsentiert wird, könnte durch berufliche und umweltbedingte Expositionen beeinflusst werden, so dass es scheint, dass die Vermeidung von beruflichen und umweltbedingten Risikofaktoren zu einer Verbesserung der Samenqualität bei subfertilen Männern führen könnte.

Kommentar: Unzureichend/unschlüssig.

Querschnittsstudien (Tabellen 13, a-d)

2. Baste et al., 2008.

Norwegen. 2002-2004. Querschnittsstudie, berufliche Exposition.

Die Autoren führten eine Querschnittsstudie unter Militär-Männern durch, die bei der Königlichen Norwegischen Marine beschäftigt waren, einschließlich Informationen über die Arbeit in der Nähe von Geräten, die hochfrequente elektromagnetische Felder aussenden, einjährige Unfruchtbarkeit, Kinder und Geschlecht des Nachwuchses. Von den 10 497 Befragten hatten 22 % in der Nähe von Hochfrequenz-Antennen in einem "hohen" oder "sehr hohen" Ausmaß gearbeitet. Die Unfruchtbarkeit stieg signifikant mit zunehmender selbstberichteter Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. In einer logistischen Regression betrug das Odds Ratio (OR) für Unfruchtbarkeit bei denjenigen, die in einem "sehr hohen" Abstand von Hochfrequenzantennen gearbeitet hatten, im Vergleich zu denjenigen, die angaben, nicht in der Nähe von Hochfrequenzantennen zu arbeiten, 1,86 (95% Konfidenzintervall (CI): 1,46-2,37), bereinigt um Alter, Rauchgewohnheiten, Alkoholkonsum und Exposition gegenüber organischen Lösungsmitteln, Schweißen und Blei. Ähnliche bereinigte OR für diejenigen, die "stark", "etwas" und "gering" exponiert waren, betrugen 1,93 (95% CI: 1,55-2,40), 1,52 (95% CI: 1,25-1,84) bzw. 1,39 (95% CI: 1,15-1,68). In allen Altersgruppen gab es signifikante lineare Trends mit einer höheren Prävalenz ungewollter Kinderlosigkeit bei höherer selbstberichteter Exposition gegenüber Hochfrequenzfeldern. Der Grad der Exposition bei Hochfrequenzstrahlung und die Anzahl der Kinder waren jedoch nicht assoziiert. Für die selbstberichtete Exposition bei Hochfrequenz-Antennen und Kommunikationsanlagen gab es signifikante lineare Trends mit einem niedrigeren Verhältnis von Jungen zu Mädchen bei der Geburt, wenn der Vater ein höheres Ausmaß an hochfrequenter elektromagnetischer Exposition berichtete.

Anmerkung: Selbstberichteter Grad der Exposition. Ein höheres Maß an HF-EMF-Exposition ist mit Unfruchtbarkeit und einem niedrigeren Verhältnis von Jungen zu Mädchen bei der Geburt verbunden.

3. Mollerleken und Moen, 2008.

Norwegen. 2002. Querschnittsuntersuchung, berufliche Exposition.

Das Ziel dieser Studie war es, die Beziehung zwischen Arbeitern, die elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sind, und ihrer reproduktiven Gesundheit zu untersuchen. Die Daten wurden mit Hilfe eines Fragebogens in einer Querschnittsstudie von männlichen Marinesoldaten erhoben, Rücklaufquote 63% (n=1487). Die Befragten wurden zu Exposition, Lebensstil, reproduktiver Gesundheit, Vorerkrankungen, Arbeit und Ausbildung befragt. Eine Expertengruppe kategorisierte die Arbeitskategorien, die mit der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern zusammenhängen. Wir kategorisierten die Arbeitskategorien "Tele/Kommunikation", "Elektronik" und "Radar/Sonar" als Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern. Die logistische Regression, bereinigt um Alter, Rauchen, militärische Ausbildung und körperliche Betätigung am Arbeitsplatz, zeigte ein erhöhtes Risiko für Unfruchtbarkeit bei der Gruppe Tele/Kommunikation (Odds Ratio $OR \leq 1,72$, 95 % Konfidenzintervall 1,04-2,85) und Radar/Sonar ($OR \leq 2,28$, 95 % Konfidenzintervall 1,27-4,09). In der Elektronikgruppe war das Risiko nicht erhöht. Diese Studie zeigt einen möglichen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern bei der Arbeit mit Hochfrequenzgeräten und Radar und einer verminderten Fruchtbarkeit. Die Ergebnisse müssen jedoch mit Vorsicht interpretiert werden.

Anmerkung: Selbstberichtete Exposition. Möglicherweise erhöhtes Risiko für Unfruchtbarkeit bei Telekommunikations- und Radar/Sonar-Bedienern.

4. Fejz et al., 2005.

Ungarn. Querschnittsstudie.

Die Anamneseerhebung bei Männern in unserer Universitätsklinik wurde durch Fragen zu den Nutzungsgewohnheiten von Mobiltelefonen ergänzt, einschließlich des Besitzes, der täglichen Standby-Position und der täglichen Sendezeiten. Die Spermaanaysen wurden mit herkömmlichen Methoden durchgeführt. Die Statistiken wurden mit der Statistiksoftware SPSS berechnet. Insgesamt wurden 371 Personen in die Studie aufgenommen. Die Dauer des Besitzes und die tägliche Sendezeit 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 niedrigem und hohem Transmitterwert unterschieden sich auch im Anteil der schnell fortschreitend beweglichen Spermien (48,7 % vs. 40,6 %). Die längere Nutzung von Mobiltelefonen kann negative Auswirkungen auf die Motilitätseigenschaften der Spermien haben.

Anmerkung: Exposition wurde selbst berichtet. Störende Faktoren wurden nicht analysiert.

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

Polen. Querschnittsstudie.

Ziel der Studie war es, den Zusammenhang zwischen modifizierbaren Lebensstilfaktoren und den wichtigsten Samenparametern, der Spermienmorphologie und der Spermienchromatinstruktur zu untersuchen. Die Studienpopulation bestand aus 344 Männern, die eine Klinik für Unfruchtbarkeit zu diagnostischen Zwecken aufsuchten und eine normale Samenkonzentration von 20-300 M/ml oder eine leichte Oligozoospermie (Samenkonzentration von 15-20 M/ml) hatten [WHO 1999]. Die Teilnehmer wurden befragt und gaben Samenproben ab. Die Befragung umfasste Fragen zur Demografie, zum sozioökonomischen Status, zur Krankengeschichte, zu Lebensstilfaktoren (Alkohol- und Tabakkonsum, Kaffeekonsum, Handy- und Saunabnutzung) und zur körperlichen Aktivität. Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass Lebensstilfaktoren die Spermaqualität beeinflussen können. Es wurde ein negativer Zusammenhang zwischen einem erhöhten Body-Mass-Index (BMI) und dem Spermavolumen festgestellt ($p \leq 0,03$). Freizeitaktivitäten standen in einem positiven Zusammenhang mit der Spermienkonzentration ($p \leq 0,04$) und Kaffeetrinken mit dem Prozentsatz der beweglichen Spermien und dem Prozentsatz der Anomalien an Kopf und Hals der Spermien ($p \leq 0,01$, $p \leq 0,05$ bzw. $p \leq 0,03$). Der Genuss von Rotwein 1-3 Mal pro Woche stand in einem negativen Zusammenhang mit Spermienhalsanomalien ($p \leq 0,01$). Außerdem verringerte die Nutzung eines Mobiltelefons über 10 Jahre den Anteil beweglicher Spermien ($p \leq 0,02$). Männer, die Boxershorts trugen, hatten einen geringeren Prozentsatz an Spermienhalsanomalien ($p \leq 0,002$) und einen geringeren Anteil an Spermien mit DNA-Schäden ($p \leq 0,02$). Diese Ergebnisse könnten wichtige Auswirkungen auf die Spermienqualität und den Lebensstil haben.

Kommentar: Selbstberichtete Exposition. Verschiedene Confounder könnten die Ergebnisse beeinflussen.

6. Yildirim et al., 2015.

Türkei. Querschnittsstudie.

Wir haben von den männlichen Patienten, die in unsere Abteilung für Unfruchtbarkeit kamen, Sperma für Analysen gesammelt und sie gebeten, einen anonymen Fragebogen auszufüllen. Wir fragten die Häufigkeit der Nutzung von Mobiltelefonen und drahtlosem Internet ab, um die Exposition gegenüber hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung zu bestimmen. Insgesamt füllten 1082 Patienten den Fragebogen aus, aber 51 von ihnen wurden aufgrund von Azoospermie von der Studie ausgeschlossen. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen der Spermienzahl und der Spermienmorphologie, mit Ausnahme der Spermienmotilität, aufgrund der Nutzungsdauer des Mobiltelefons ($p = 0,074$, $p = 0,909$ bzw. $p = 0,05$). Die Gesamtzahl der beweglichen Spermien und die Anzahl der progressiv beweglichen Spermien nahm mit der Zunahme der Internetnutzung ab ($p = 0,032$ bzw. $p = 0,033$). In Übereinstimmung mit der Gesamtzahl der beweglichen Spermien verringerte sich auch die Anzahl der progressiven 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 Gesamtzahl der Spermien ($r = -0,089$, $p = 0,039$). Nach unseren vorläufigen Ergebnissen haben wir auch die negativen Auswirkungen der drahtlosen Internetnutzung auf die Spermienmotilität untersucht.

Anmerkung: Die Exposition wurde selbst angegeben. Störende Faktoren wurden nicht analysiert. Jeder Unterschied zwischen den Spermienparametern und der Nutzung von Mobiltelefonen und drahtlosem Internet ist die Schlussfolgerung der Autoren.

7. Zilberlicht et al. (2015).

Israel. Querschnittsstudie.

Männliche Unfruchtbarkeit macht 30-40 % aller Unfruchtbarkeitsfälle aus. Einige Studien haben gezeigt, dass die Samenqualität seit Beginn des 20. Jahrhunderts kontinuierlich abnimmt. Ein postulierter Faktor ist die elektromagnetische Hochfrequenzstrahlung, die von Mobiltelefonen ausgeht. In dieser Studie wird ein Zusammenhang zwischen den Merkmalen der Handynutzung und der Samenqualität untersucht. 106 Männer, die zur Spermauntersuchung überwiesen wurden, füllten Fragebögen aus, in denen sie demografische Daten und Merkmale der Handynutzung erfassten. Die Ergebnisse wurden nach den Kriterien der WHO 2010 ausgewertet. Gespräche von ≥ 1 Stunde/Tag und während des Aufladens des Geräts waren mit höheren Raten anormaler Spermakonzentration verbunden (60,9 % gegenüber 35,7 %, $P < 0,04$ bzw. 66,7 % gegenüber 35,6 %, $P < 0,02$). Bei Männern, die angaben, ihr Telefon ≤ 50 cm von der Leiste entfernt zu halten, wurde eine nicht signifikant höhere Rate an abnormaler Spermienkonzentration festgestellt (47,1 % gegenüber 11,1 %). Eine multivariate Analyse ergab, dass Sprechen beim Aufladen des Geräts und Rauchen Risikofaktoren für eine abnorme Spermienkonzentration waren (OR = 4,13 [95% CI 1,28-13,3], $P < 0,018$ bzw. OR = 3,04 [95% CI 1,14-8,13], $P < 0,027$). Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass bestimmte Aspekte der Handynutzung nachteilige Auswirkungen auf die Spermienkonzentration haben können. Eine Untersuchung in groß angelegten Studien ist daher erforderlich.

Anmerkung: Selbstberichtete Exposition. Es wurde ein gewisser Zusammenhang gefunden.

8. Al-Bayyari, 2017.

Jordanien. Querschnittliche Beobachtungsstudie.

Ziel war es, die Auswirkungen der Handynutzung auf die Samenqualität und die Fruchtbarkeit von Männern zu untersuchen. In einer Querschnittsbeobachtungsstudie wurden 159 Männer, die Unfruchtbarkeitskliniken in den Gouvernements Nord, Mitte und Süd in Jordanien besuchten und sich einer Unfruchtbarkeitsuntersuchung unterzogen, entsprechend ihrer aktiven Handynutzung in zwei Gruppen eingeteilt: Gruppe A: ≤ 1 h/Tag und Gruppe B: >1 Std./Tag. Die Patienten erhielten keine Interventionen, und die Spermaproben wurden nach einer Abstinenzzeit von 5 Tagen durch Masturbation in einem sterilen Behälter entnommen. Die wichtigsten Messgrößen waren Spermienvolumen, Verflüssigungszeit, pH-Wert, Viskosität, Anzahl, Beweglichkeit und Morphologie.

Die Zeit, in der mit dem Handy telefoniert wurde, wurde aufgezeichnet und die Probanden wurden in 2 Gruppen eingeteilt: Gruppe A ≤ 1 Stunde/Tag ($n = 104$); Gruppe B > 1 Stunde/Tag ($n = 52$) und Teilnehmer, die kein Handy benutzten ($n = 3$), wurden von der statistischen Analyse ausgeschlossen, um die Auswirkungen der Zeit, die sie mit Anrufen oder dem Empfang von Anrufen verbrachten, zu untersuchen. Es gab keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der Spermienqualitätsparameter in Abhängigkeit von der Handynutzung, aber es gab statistische Unterschiede in der Häufigkeit der Spermienkonzentration, des Volumens, der Viskosität, der Verflüssigungszeit und der Mittelwerte der unbeweglichen Spermien und der abnormalen Morphologie. Darüber hinaus waren die Zeit, die mit Fernsehen und der Nutzung von Mobiltelefonen verbracht wurde, signifikant ($p \leq 0,05$) mit sinkenden mittleren Prozentsätzen normaler Morphologie verbunden. Die Entfernung von einem Telekommunikationsmast war signifikant ($p \leq 0,05$) mit einer Abnahme des Spermiovolumens verbunden. Die Zeit, die mit dem Senden oder Empfangen von Nachrichten verbracht wurde, war signifikant ($p \leq 0,05$) mit einer abnehmenden Spermienzahl verbunden, und das Tragen eines Mobiltelefons in der Hosentasche war signifikant mit einem Anstieg der unbeweglichen Spermien verbunden. Die Nutzung von Mobiltelefonen könnte sich negativ auf die Parameter der Spermienqualität auswirken, weshalb weitere Untersuchungen erforderlich sind.

Kommentar: Selbstberichtete Exposition. Die Nutzung von Mobiltelefonen könnte einen negativen Einfluss auf die Parameter der Sperma-Qualität haben.

9. Shi et al. (2018).

Querschnittsstudie.

Es wurden 328 Probanden rekrutiert, die sich einer Spermienanalyse unterzogen. Routine-SA, Spermavitalität, Akrosomreaktion (AR) und Spermien-DNA-Fragmentierungsindex (DFI) wurden analysiert. Demografische und Lebensstil-Informationen, einschließlich (1) BMI, (2) aktuelle Häufigkeit des Rauchens und des Alkoholkonsums, (3) Schlafgewohnheiten, (4) tägliche Flüssigkeitsaufnahme, (5) wöchentlicher Fleischkonsum, (6) Sporthäufigkeit, (7) Nutzung von Mobiltelefonen in der Hose, (8) Alter und (9) Abstinenzzeit, wurden erfasst. Zur Analyse des möglichen nichtlinearen Zusammenhangs wurden verallgemeinerte additive Modelle verwendet. Die Ergebnisse zeigten, dass die Gesamtspermienzahl (TSC) signifikant mit dem Alter ($P = 0,001$), der Abstinenzzeit ($P = 0,001$) und dem täglichen Kaffeekonsum ($P = 0,044$) verbunden war. Das Spermavolumen war signifikant mit dem Alter ($P < 0,001$) und dem täglichen Kaffeekonsum ($P < 0,001$) assoziiert. Die Spermienkonzentration war signifikant mit der Abstinenzzeit ($P = 0,011$) und der durchschnittlichen Schlafdauer ($P = 0,010$) assoziiert. Die Spermienmotilität war signifikant mit dem Alter ($P = 0,002$) und dem täglichen Saftkonsum ($P = 0,001$) verbunden. Die Gesamtzahl der beweglichen Spermien war signifikant mit dem Alter ($P = 0,003$) und der Abstinenzzeit ($P = 0,009$) verbunden. Der DFI war signifikant mit dem Alter ($P = 0,002$), unregelmäßigen Schlafgewohnheiten ($P = 0,008$) und der Abstinenzzeit ($P = 0,032$) verbunden. Der Prozentsatz der AR-Spermien war signifikant mit dem täglichen Saftkonsum verbunden ($P = 0,013$). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass DFI und TSC die empfindlichsten Spermaparameter für demografische und Lebensstilmerkmale waren, während das Alter einen größeren Einfluss auf die Spermaparameter hatte als andere demografische und Lebensstilmerkmale. Die Nutzung von Mobiltelefonen in der Hose war nicht signifikant mit einer Veränderung der untersuchten Spermaparameter verbunden.

Kommentar: Selbstberichtete Exposition. Viele Störfaktoren bei Alter und Lebensstil. Kein Zusammenhang mit Spermienveränderung.

10. Blay et al., 2020.

Ghana. Querschnittsstudie.

Es ist bekannt, dass etwa die Hälfte aller Unfruchtbarkeitsfälle auf männliche Unfruchtbarkeit zurückzuführen ist. In Ghana ist die Prävalenz der männlichen Unfruchtbarkeit höher (15,8 %) als die der weiblichen (11,8 %). Die Spermienqualität steht in Zusammenhang mit der Wahrscheinlichkeit einer Schwangerschaft und ist in 90 % der Fälle die Ursache für männliche Fruchtbarkeitsprobleme. Bestimmte Umweltfaktoren beeinträchtigen die Spermienqualität bei Männern. Die Studie untersuchte die Auswirkungen von Umwelt- und Lebensstilfaktoren auf die Spermienqualität bei ghanaischen Männern. Material und Methoden. Es handelte sich um eine Querschnittsstudie mit 80 scheinbar gesunden erwachsenen Männern im fortpflanzungsfähigen Alter. Bei den Teilnehmern handelte es sich um Männer, die ins Labor (Immunologieabteilung des Korle-Bu Teaching Hospital) überwiesen wurden, um eine Samenanalyse und/oder eine Kultur und Empfindlichkeitsuntersuchung durchzuführen. Die Teilnehmer wurden gebeten, einen Fragebogen auszufüllen, 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 sitzen) abgefragt wurden.

Die Spermaproben wurden dann durch Masturbation in sterilen Behältern entnommen und innerhalb von 60 Minuten nach der Ejakulation und der Entnahme gemäß den WHO-Richtlinien für die Spermaanalyse 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. Die Zahl der unbeweglichen Spermien (p -Wert = 0,017) war bei Teilnehmern, die mehr als 4 Stunden saßen, signifikant höher als bei denen, die weniger als 4 Stunden am Tag saßen. Die aktive Spermienmotilität und die Lebensfähigkeit waren bei Teilnehmern, die ihr Handy in der Seitentasche trugen, signifikant erhöht (p -Wert = 0,002 bzw. 0,009). Rauchen führte zu einer zweifachen Verringerung der Spermienzahl, Raucher wiesen eine signifikant niedrigere Spermienzahl ($12:28 \pm 10:95 \times 10^6/\text{ml}$) im Vergleich zu den Nichtrauchern ($23:85 \pm 22:14 \times 10^6/\text{ml}$) auf. Hinsichtlich der Exposition gegenüber Geschlechtskrankheiten wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Studiengruppen hinsichtlich der Spermienqualität festgestellt. Schlussfolgerung. Die Spermienqualität ghanaischer Männer hängt mit den Lebensgewohnheiten zusammen. Rauchen und langes Sitzen beeinflussten die Spermienmotilität bzw. die Spermienzahl. Die Kenntnis der Faktoren, die die Spermienqualität in dieser geografischen Region beeinflussen, kann zu fundierten Entscheidungen über ein wirksames Management der Unfruchtbarkeit bei ghanaischen Männern beitragen.

Kommentar: Selbstberichtete Exposition, ungewiss. Erhöhte Aktivität und Lebensfähigkeit in Verbindung mit Mobiltelefonen in den Seitentaschen. Viele Störfaktoren.

Kohortenstudien (Tabellen 14, a-c)

11. Zhang, 2016.

China. 2013-2015. Kohortenstudie.

Die Rekrutierung von Teilnehmern aus Unfruchtbarkeitskliniken und nicht aus der Allgemeinbevölkerung könnte die Möglichkeit eines Selektionsbias aufwerfen. Untersuchung der Auswirkungen der Handynutzung auf die Spermaparameter in einer Allgemeinbevölkerung. Wir untersuchten und dokumentierten die Informationen zur Handynutzung 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 und 2015. In den univariaten Regressionsanalysen fanden wir heraus, dass die tägliche Dauer des Telefonierens mit dem Handy signifikant mit verringerten Spermienparametern verbunden war, einschließlich der Spermienkonzentration [β -Koeffizient = -6.32% pro Einheit täglicher Gesprächsdauer am Handy (h); 95% Konfidenzintervall (CI), -11,94, -0,34] und Gesamtspermienzahl (-8,23; 95% CI, -14,38, -1,63) im Jahr 2013; Spermavolumen (-8,37; 95% CI, -15,93, -0,13) und Gesamtspermienzahl (-16,59; 95% CI, -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 verbunden. Multivariate Analysen wurden durchgeführt, um die Auswirkungen potenzieller Störfaktoren auszugleichen, und die signifikanten negativen Assoziationen zwischen Internetnutzung und Spermaparametern blieben bestehen. Konsistente, aber nicht signifikante negative Assoziationen zwischen dem Telefonieren mit dem Handy und den Spermaparametern blieben über die drei Studienjahre hinweg bestehen, und die negative Assoziation war in einem gemischten Modell, das alle drei Jahre der Daten zum Telefonieren mit dem Handy und zur Spermaqualität berücksichtigte, statistisch signifikant. Unsere Ergebnisse zeigen, dass bestimmte Aspekte der Handynutzung die Spermienqualität bei Männern negativ beeinflussen können, indem sie das Spermavolumen, die Spermienkonzentration oder die Spermienzahl verringern und damit die männliche Fruchtbarkeit beeinträchtigen.

Anmerkung: Selbstberichtete Exposition. Confounding nicht analysiert. Zusammenhang mit Beeinträchtigung der männlichen Fruchtbarkeit.

12. Lewis et al. (2017).

USA. 2004-2015. Kohorten-Längsschnittstudie, Teil der EARTH-Studie.

Es handelt sich um eine Längsschnitt-Kohortenstudie, die Paare rekrutiert, die eine Unfruchtbarkeitsbehandlung im Fertilitätszentrum des Massachusetts General Hospital (MGH) anstreben; Schwierigkeiten bei der Empfängnis können auf einen männlichen Faktor, einen weiblichen Faktor oder eine Kombination aus männlichen und weiblichen Faktoren zurückzuführen sein. Die Beziehung zwischen Mobiltelefon-Nutzungsmustern und Markern der Samenqualität wurde in einer Längsschnitt-Kohortenstudie mit 153 Männern untersucht, die eine akademische Fruchtbarkeitsklinik in Boston, Massachusetts, besuchten. Männer waren zwischen 18 und 56 Jahre waren zur Teilnahme berechtigt.

Informationen über die Dauer der Mobiltelefonnutzung (keine Nutzung, <2 Std./Tag, 2-4 Std./Tag, >4 Std./Tag), die Verwendung von Headsets oder Ohrhörern (nie, gelegentlich, manchmal, meistens, immer) und den Ort, an dem das Mobiltelefon getragen wurde (Hosentasche, Gürtel, Tasche, andere), wurden mittels eines von einer Krankenschwester ausgefüllten Fragebogens erhoben. Spermaproben (n = 350) wurden vor Ort entnommen und analysiert. Um mehrere Spermaproben pro Mann zu berücksichtigen, wurden lineare gemischte Modelle mit zufälligen Abschnitten verwendet, um den Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Spermaparametern zu untersuchen. Insgesamt gab es keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Samenqualität.

Anmerkung: Selbstberichtete Exposition. Kein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Spermienqualität.

ENTWICKLUNGSSTUDIEN

Fall-Kontroll-Studien (Tabellen 15 a-f)

13. Tan et al., 2014.

Singapur. Fall-Kontroll-Studie.

Eine drohende Fehlgeburt tritt bei 20 % der Schwangerschaften auf. Wir haben eine Fall-Kontroll-Studie durchgeführt, um den Zusammenhang zwischen mütterlichen Lebensstilfaktoren und dem Risiko einer drohenden Fehlgeburt zu bewerten. Bei den Fällen handelte es sich um 154 Frauen, die in der 5. bis 10. Schwangerschaftswoche mit einer drohenden Fehlgeburt vorstellig wurden; die Kontrollen waren 264 Frauen ohne drohende Fehlgeburt, die in der 5. bis 10. Woche der Schwangerschaft. Die Lebensstilvariablen waren: gegenwärtiges und früheres Zigarettenrauchen, gegenwärtige Passivrauchexposition, Computer- und Mobiltelefonbenutzung, wahrgenommener Stress, frühere Verwendung von Verhütungsmitteln, frühere Regelmäßigkeit der Menstruation und Konsum von Fischöl, Koffein und Alkohol. Es wurde eine logistische Regression durchgeführt. Die multivariate Analyse ergab einen positiven Zusammenhang zwischen drohender Fehlgeburt und Passivrauchexposition (OR 2,93, 95% CI 1,32-6,48), Computernutzung (>4 Stunden/Tag) (OR 6,03, 95% CI 2,82-12,88), Handynutzung (>1 Stunde/Tag) (OR 2,94 95% CI 1,32-6,53) und Koffeinkonsum (OR 2,95 95% CI 1,57- 5,57). Jeglicher Fischölkonsum war mit einem geringeren Risiko einer drohenden Fehlgeburt verbunden (OR 0,20, 95% CI 0,09-0,42). Längerer Handy- und Computerkonsum sowie die Einnahme von Fischöl sind mögliche neue Korrelate einer drohenden Fehlgeburt, die weiter untersucht werden sollten.

Anmerkung: Selbstberichtete Exposition. Stress als Störvariable nicht berücksichtigt. Korrelation zwischen Handy- und Computernutzung und drohender Fehlgeburt beobachtet.

14. Mahmoudabadi et al., 2015.

Iran. Fall-Kontroll-Studie.

Die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen nimmt zu, aber der mögliche Einfluss auf einen Spontanabort ist nicht gründlich untersucht worden. Methoden: In einer Fall-Kontroll-Studie wurden 292 Frauen, die einen ungeklärten Spontanabort in < 14 Schwangerschaftswochen hatten, und 308 schwangere Frauen > 14 Schwangerschaftswochen eingeschlossen. Es wurden zwei Datenerhebungsbögen ausgefüllt; einer diente der Erfassung von Daten zu sozioökonomischen und geburtshilflichen Merkmalen, zur medizinischen und reproduktiven Vorgeschichte und zum Lebensstil, der andere der Erfassung von Daten zur Nutzung von Mobiltelefonen während der Schwangerschaft. Zur Untersuchung der Auswirkungen von Mobiltelefonen wurden die durchschnittliche Gesprächsdauer pro Tag, der Standort des Mobiltelefons bei Nichtgebrauch, die Verwendung von Freisprecheinrichtungen, die Nutzung des Telefons für andere Anwendungen, die vom Hersteller angegebene spezifische Absorptionsrate (SAR) und der Durchschnitt der effektiven SAR (durchschnittliche Gesprächsdauer pro Tag × SAR) gemessen. Die Analysen wurden mit dem statistischen Softwarepaket (SPSS) v.16 durchgeführt. Der Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und dem Risiko von Spontanaborten gegen potenzielle Störfaktoren wurde dadurch gestützt, dass die Schätzung trotz Anpassungen für viele bekannte oder vermutete Risikofaktoren in logistischen Regressionsanalysen nicht signifikant verändert wurde. Alle Daten in Bezug auf Mobiltelefone waren zwischen den beiden Gruppen unterschiedlich, mit Ausnahme der Nutzung von Freisprecheinrichtungen (p < 0,001). Unser Ergebnis deutet darauf hin, dass die Nutzung von Mobiltelefonen mit frühen Spontanaborten in Zusammenhang stehen kann.

Kommentar: Selbstberichtete Exposition. Die Nutzung von Mobiltelefonen kann mit frühen Spontanaborten in Zusammenhang stehen.

Querschnittsstudien (Tabellen 16, a,b)

15. Col-Araz, 2013.

Türkei. 2009. Querschnittsstudie.

Die Studie wurde in der Türkei in der Ambulanz der Pädiatrischen Abteilung der Medizinischen Fakultät der Gazintep-Universität durchgeführt. Sie umfasste 500 Patienten, die sich zwischen Mai und Dezember 2009 in der Klinik vorstellten. Allen Teilnehmerinnen wurde ein Fragebogen zu ihrer Schwangerschaftsanamnese vorgelegt. Für die statistische Analyse wurde SPSS 13 verwendet. In der Studie hatten 90 (19 %) Patientinnen eine Frühgeburt und 64 (12,9 %) ein niedriges Geburtsgewicht. Das Geburtsgewicht war positiv mit dem mütterlichen Alter und dem mütterlichen Ausgangsgewicht korreliert ($r = 0,115$, $p = 0,010$; $r = 0,168$, $p = 0,000$, jeweils). Frühgeburten und ein Geburtsgewicht von weniger als 2500 g waren häufiger bei Müttern mit einer Krankheitsgeschichte während der Schwangerschaft ($p = 0,046$ bzw. $p = 0,008$). Die Gewohnheit der Mütter, fernzusehen, Mobiltelefone und Computer zu benutzen, zeigte keinen Zusammenhang mit dem Geburtsgewicht. Mütter, die während der Schwangerschaft Handys oder Computer benutzten, hatten mehr Entbindungen vor der 37. Woche ($p = 0,018$ bzw. $p = 0,034$). Auch die Schwangerschaftsdauer war 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: Selbstberichtete Exposition. Mobiltelefone und Computer können einen Einfluss auf Frühgeburten haben.

16. Zarei S. et al., 2015.

Iran. 2014. Querschnittsstudie.

Der Zweck dieser Studie war es, zu untersuchen, ob die mütterliche Exposition bei verschiedenen Quellen elektromagnetischer Felder die Rate und den Schweregrad von Sprachproblemen bei ihren Nachkommen beeinflusst. In dieser Studie wurden Mütter von 35 gesunden 3-5-jährigen Kindern (Kontrollgruppe) und 77 Kindern mit diagnostizierten Sprachproblemen, die an ein Sprachbehandlungszentrum in Shiraz, Iran, überwiesen worden waren, befragt. Diese Mütter wurden gefragt, ob sie verschiedenen Quellen elektromagnetischer Felder wie Mobiltelefonen, Mobilfunk-Basisstationen, Wi-Fi, schnurlosen Telefonen, Laptops und Stromleitungen ausgesetzt waren. Es wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Gesprächszeit ($P = 0,002$) oder der Nutzungsdauer von Mobiltelefonen (Nutzungsmonate) und Sprachproblemen bei den Kindern ($P = 0,003$) festgestellt. Andere Expositionen hatten jedoch keinen Einfluss auf das Auftreten von Sprachproblemen. Soweit wir wissen, ist dies die erste Studie, die einen möglichen Zusammenhang zwischen mütterlicher Exposition bei elektromagnetischen Feldern und Sprachproblemen bei den Nachkommen untersucht. Obwohl eine wesentliche Einschränkung unserer Studie die relativ kleine Stichprobengröße ist, deutet diese Studie darauf hin, dass die mütterliche Exposition bei gängigen Quellen elektromagnetischer Felder, wie z.B. Mobiltelefonen, das Auftreten von Sprachproblemen bei den Nachkommen beeinflussen kann.

Kommentar: Kleine Stichprobengröße, Limit bei der Expositions-Abschätzung. Zusammenhang zwischen der mütterlichen Nutzung von Mobiltelefonen und Sprachproblemen bei den Nachkommen.

17. Abad et al. (2016).

Iran. Querschnittsstudie.

Untersuchung der Zusammenhänge zwischen elektromagnetischer Feld-Exposition und Fehlgeburt bei Frauen aus Teheran. An dieser Längsschnittstudie nahmen 462 schwangere Frauen mit einem Gestationsalter <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. Die Häufigkeit der spontanen Fehlgeburten betrug 56 Fälle. Die Häufigkeit der Fehlgeburten lag bei 12,3 %. Die Frauen wurden von Angesicht zu Angesicht befragt, um Daten zu sammeln. Informationen zur Fortpflanzung wurden anhand der Krankenakte in den Krankenhäusern erhoben, in denen die Probanden entbunden hatten. Das Messgerät maß elektromagnetische Wellen: Narda-Sicherheitstestlösungen mit gültigem Kalibrierungsdatum an der Eingangstür ihrer Häuser. Es zeigte sich eine signifikante Wahrscheinlichkeit für eine Fehlgeburt bei Frauen, die einem signifikanten Niveau elektromagnetischer Wellen ausgesetzt waren. Dieser Zusammenhang wurde jedoch nicht durch den Wald-Test bestätigt. Diese Studie liefert möglicherweise keinen starken oder konsistenten Beweis dafür, dass die Exposition bei elektromagnetischen Feldern mit einer Fehlgeburt verbunden ist oder diese verursacht. Dieses Problem könnte auf die kleine Stichprobengröße in dieser Studie zurückzuführen sein.

Kommentar: Selbstberichtete Exposition. Kleine Stichprobe. Ungewisser Zusammenhang zwischen Fehlgeburt und Mobiltelefon-Nutzung.

18. Lu et al., 2017.

Japan. 2012-2014. Querschnittsstudie aus Kohortendaten.

Ziel der Studie war es, die Assoziationen zwischen exzessiver Handynutzung und dem neonatalen Geburtsgewicht und dem Gesundheitszustand des Kindes zu bestimmen. Eine Stichprobe von 461 Mutter-Kind-Paaren nahm an einer Umfrage zu mütterlichen Merkmalen, kindlichen Merkmalen und Informationen über die mütterliche Handynutzung während der Schwangerschaft teil. Die Ergebnisse zeigten, dass schwangere Frauen in Japan dazu neigen, Mobiltelefone übermäßig zu nutzen. Das durchschnittliche Geburtsgewicht des Säuglings war in der Gruppe mit exzessiver Nutzung niedriger als in der Gruppe mit normaler Nutzung, und die Häufigkeit des Notfalltransports des Säuglings war in der Gruppe mit exzessiver Nutzung deutlich höher als in der Gruppe mit normaler Nutzung. Exzessive Handynutzung während der Schwangerschaft könnte ein Risikofaktor für ein niedrigeres Geburtsgewicht und eine höhere Rate an Notfalltransporten sein.

Anmerkung: Selbstberichtete Exposition. Begrenzte Stichprobengröße. Begrenzte Bewertung der Exposition der Mütter. Nicht schlüssig.

Kohortenstudien (Tabellen 17, a-f)

19. Mjølne et al., 2006.

Norwegen. 1976-1995. Kohortenstudie über ungünstige Schwangerschaftsergebnisse, berufliche Exposition.

Ziel war es, Zusammenhänge zwischen väterlicher beruflicher Exposition gegenüber RF-EMF und ungünstigen Schwangerschaftsergebnissen, einschließlich Geburtsfehlern, anhand bevölkerungsbasierter Daten aus Norwegen zu bewerten. Daten zu reproduktiven Ergebnissen aus dem medizinischen Geburtenregister Norwegens wurden mit Daten zum Beruf des Vaters aus der allgemeinen Volkszählung verknüpft. Maritime Berufe, Telefonreparatur- und -installationsarbeiter und Schweißer wurden als drei separate Gruppen ausgewählt. Ein Expertengremium kategorisierte die Berufe nach ihrer Exposition. Es wurden drei berufliche Expositionsniveaus bewertet, die die Wahrscheinlichkeit einer Exposition gegenüber RFR 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). Mittels logistischer Regression wurden 24 Kategorien von Geburtsfehlern sowie andere negative Folgen analysiert. Bei den Nachkommen der Väter, die am wahrscheinlichsten exponiert waren, wurde ein erhöhtes Risiko für Frühgeburten beobachtet (OR: 1,08, 95% Konfidenzintervall (CI): 1,03, 1,15). In dieser Gruppe beobachteten wir auch ein verringertes Risiko für Lippenpalten (OR: 0,63, 95% CI: 0,41, 0,97). In der Gruppe mit mittlerer Exposition beobachteten wir ein erhöhtes Risiko für eine Kategorie von "anderen Defekten" (OR: 2,40, 95% CI: 1,22, 4,70) und ein verringertes Risiko für eine Kategorie von "anderen Syndromen" (OR: 0,75, 95% CI: 0,56, 0,99) und oberen gastrointestinalen Defekten (OR: 0,61, 95% CI: 0,40, 0,93). Die Studie ist teilweise beruhigend für beruflich exponierte Väter.

Kommentar: Ausmaß der Exposition ungewiss. Kein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition gegenüber RF-EMF und ungünstigem Schwangerschaftsausgang.

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

Dänemark. Kinder, die zwischen 1997 und 1999 geboren wurden, dann 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 Dänische Nationale Geburtskohorte 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 Verhaltensstatus der Kinder sowie über die frühere Exposition gegenüber der Handynutzung auszufüllen. Die Mütter bewerteten die Verhaltensprobleme des Kindes mithilfe des Fragebogens zu Stärken und Schwierigkeiten. Die Mütter von 13.159 Kindern füllten den Follow-up-Fragebogen aus und berichteten über ihre Nutzung von Mobiltelefonen während der Schwangerschaft sowie über die aktuelle Nutzung von Mobiltelefonen durch das Kind. Höhere Odds Ratios für Verhaltensprobleme wurden bei Kindern beobachtet, die möglicherweise pränatal oder postnatal der Handynutzung ausgesetzt waren. Nach Adjustierung für mögliche Störfaktoren betrug das Odds Ratio für einen höheren Gesamtwert für Verhaltensprobleme 1,80 (95% Konfidenzintervall 1,45-2,23) bei Kindern mit pränataler und postnataler Exposition gegenüber Mobiltelefonen. Die pränatale - und in geringerem Maße auch die postnatale - Exposition gegenüber Mobiltelefonen war mit Verhaltensschwierigkeiten wie emotionalen und Hyperaktivitätsproblemen im Alter des Schuleintritts verbunden.

Kommentar: Selbstberichtete Exposition und andere mögliche Störfaktoren. Die pränatale - und in geringerem Maße auch die postnatale - Exposition gegenüber Mobiltelefonen war mit Verhaltensschwierigkeiten wie emotionalen und Hyperaktivitäts-Problemen im Alter des Schuleintritts verbunden.

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 Entwicklungsverzögerungen bei den Kindern im Alter von bis zu 18 Monaten verbunden ist.

Methoden. Unsere Arbeit basiert auf der Dänischen Nationalen Geburtskohorte (DNBC), die schwangere Mütter von 1996-2002 rekrutierte und mit dem Ziel initiiert wurde, eine Vielzahl detaillierter Informationen über In-Utero-Expositionen und verschiedene gesundheitliche Ergebnisse zu sammeln. Ende 2008 wurden über 41 000 Lebendgeburten mit dem Age-7-Fragebogen verfolgt, der die Handy-Exposition der Mütter während der Schwangerschaft erfasste. Die Ergebnisse zu den Entwicklungsmeilensteinen wurden aus Telefoninterviews gewonnen, die von den Müttern im Alter von 6 und 18 Monaten nach der Geburt ausgefüllt wurden. Ergebnisse Ein logistisches Regressionsmodell schätzte die Odds Ratios (OR) für Entwicklungsverzögerungen, bereinigt um mögliche Störfaktoren. Weniger als 5 % der Kinder wiesen im Alter von 6 und 18 Monaten kognitive/sprachliche oder motorische Entwicklungsverzögerungen auf. Im Alter von 6 Monaten betrug die bereinigte OR 0,8 [95% Konfidenzintervall (95% CI) 0,7-1,0] für kognitive/sprachliche Verzögerungen und 0,9 (95% CI 0,8-1,1) für motorische Entwicklungsverzögerungen. Nach 18 Monaten betrug die bereinigte OR 1,1 (95% CI 0,9-1,3) und 0,9 (95% CI 0,8-1,0) für die kognitive/sprachliche bzw. motorische Entwicklungsverzögerung. Schlussfolgerungen Es wurde kein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen pränataler Handynutzung und motorischen oder kognitiven/sprachlichen Entwicklungsverzögerungen bei Säuglingen im Alter von 6 und 18 Monaten beobachtet. Selbst bei Berücksichtigung von Dosis-Wirkungs-Assoziationen für die Handynutzung waren die Assoziationen null.

Anmerkung: Selbstberichtete Exposition. Kein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen pränataler Mobiltelefon-Nutzung und motorischen oder kognitiven/sprachlichen Entwicklungsverzögerungen.

21. Guxens et al., 2013.

Die Niederlande. 2003-2004 Rekrutierung; 2008-2009 Bewertung von Verhaltensproblemen; 2010-2011 retrospektive Expositionsbeurteilung.

Die Studie war eingebettet in eine bevölkerungsbasierte prospektive Geburtskohortenstudie. Zusammen mit Mobiltelefonen stellen schnurlose Telefone die Hauptexpositionsquelle für hochfrequente elektromagnetische Felder am Kopf dar. Daher untersuchten wir den Zusammenhang zwischen der mütterlichen Nutzung von Handys und Schnurlostelefonen während der Schwangerschaft und den von Lehrern und Müttern berichteten Verhaltensproblemen der Kinder im Alter von 5 Jahren. Die Studie war eingebettet in die Amsterdam Born Children and their Development Study, eine bevölkerungsbasierte Geburtskohortenstudie in Amsterdam, Niederlande (2003-2004). Lehrer und Mütter berichteten über kindliche Verhaltensprobleme im Alter von 5 Jahren anhand des Fragebogens zu Stärken und Schwierigkeiten. Die Nutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen durch die Mütter während der Schwangerschaft wurde erfragt, als die Kinder 7 Jahre alt waren.

Insgesamt 2618 Kinder wurden einbezogen. Im Vergleich zu Nicht-Nutzern zeigten diejenigen, die der pränatalen Handynutzung ausgesetzt waren, eine erhöhte, aber nicht signifikante Assoziation mit von Lehrern berichteten allgemeinen Verhaltensproblemen, allerdings ohne Dosis-Wirkungs-Beziehung. mit der Anzahl der Anrufe (OR=2,12 (95% CI 0,95 bis 4,74) für <1 Anruf/Tag, OR=1,58 (95% CI 0,69 bis 3,60) für 1-4 Anrufe/Tag und OR=2,04 (95% CI 0,86 bis 4,80) für ≥ 5 Anrufe/Tag). Die ORs für die von den Lehrern gemeldeten allgemeinen Verhaltensprobleme lagen in allen Kategorien der Schnurlostelefonnutzung unter 1 oder nahe bei Eins. Die Assoziationen zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und Schnurlostelefonen durch die Mütter und den von den Müttern gemeldeten allgemeinen Verhaltensproblemen waren nicht signifikant. Für die spezifischen Verhaltensproblemsubskalen wurden nicht-signifikante Zusammenhänge gefunden. Unsere Ergebnisse deuten nicht darauf hin, dass die Nutzung von Mobiltelefonen oder Schnurlostelefonen durch Mütter während der Schwangerschaft die Wahrscheinlichkeit von Verhaltensstörungen bei ihren Kindern erhöht.

Kommentar: Selbstberichtete Exposition und andere mögliche Störfaktoren. Nutzung von Mobiltelefonen während der Schwangerschaft erhöht spezifische Verhaltensprobleme, nicht signifikant.

22. Choi et al. (2017).

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

Studien, die die pränatale Exposition gegenüber der Nutzung von Mobiltelefonen und ihre Auswirkungen auf die Neuroentwicklung von Kindern untersuchen, zeigen je nach Entwicklungsstufe des Kindes unterschiedliche Ergebnisse. Um die Neuroentwicklung von Kindern im Alter von bis zu 36 Monaten nach pränataler Mobiltelefon-Nutzung und Hochfrequenz-Strahlungsexposition (RF-EMF) im Zusammenhang mit pränataler Bleiexposition zu untersuchen, analysierten wir 1198 Mutter-Kind-Paare aus einer prospektiven Kohortenstudie (der Mothers and Children's Environmental Health Study). Die schwangeren Frauen erhielten in der 20. Schwangerschaftswoche Fragebögen, um die Häufigkeit und Dauer von Mobiltelefongesprächen zu ermitteln. Ein persönliches Expositionsmessgerät (PEM) wurde verwendet, um die RF-EMF-Exposition von 210 schwangeren Frauen über 24 Stunden zu messen. Der mütterliche Blutbleispiegel (BLL) wurde während der Schwangerschaft gemessen. Die Neuroentwicklung des Kindes wurde mit der koreanischen Version der Bayley Scales of Infant Development-Revised im Alter von 6, 12, 24 und 36 Monaten bewertet. Die logistische Regressionsanalyse wurde auf Gruppen angewandt, die durch eine Trajektorienanalyse klassifiziert wurden, die neurologische Entwicklungsmuster im Laufe der Zeit aufzeigt. Der psychomotorische Entwicklungsindex (PDI) und der mentale Entwicklungsindex (MDI) waren im Alter von 6, 12, 24 und 36 Monaten nicht signifikant mit dem mütterlichen Handygebrauch während der Schwangerschaft verbunden. 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, und zwar im Zusammenhang mit einer zunehmenden durchschnittlichen Gesprächsdauer (p -trend=0,008). Es bestand auch ein Risiko für einen abnehmenden MDI bis zum 36. Lebensmonat im Zusammenhang mit einer zunehmenden durchschnittlichen Gesprächsdauer oder -häufigkeit während der Schwangerschaft (p -trend=0,05 bzw. 0,007 für Dauer und Häufigkeit). Es gab keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der kindlichen Neuroentwicklung und der pränatalen HF-EMF-Exposition, gemessen durch PEM, bei allen Probanden oder in Gruppen, die nach dem mütterlichen BLL während der Schwangerschaft geschichtet waren. Es wurde kein Zusammenhang zwischen der pränatalen Exposition gegenüber RF-EMF und der kindlichen Neuroentwicklung während der ersten drei Lebensjahre gefunden; allerdings wurde ein möglicher kombinierter Effekt der pränatalen Exposition gegenüber Blei und Mobiltelefon-Nutzung vermutet.

Kommentar: Mütterlicher Blutbleispiegel als wichtigster Störfaktor. Ein möglicher kombinierter Effekt wird vermutet.

23. Papadopoulou et al., 2017.

Norwegen. 1999-2008. Prospektive bevölkerungsbasierte Schwangerschaftskohortenstudie MoBa, Norwegian Institute of Public Health.

Untersucht wurde der Zusammenhang zwischen mütterlicher Handynutzung 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 MoBa, die in der Mitte der Schwangerschaft zwischen 1999 und 2008 rekrutiert wurden. Die Häufigkeit der Handynutzung durch die Mutter in der Frühschwangerschaft 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 verwendet. Ergebnisse: 9,8 % der Frauen gaben an, in der Frühschwangerschaft kein Mobiltelefon zu benutzen, während 39 %, 46,9 % und 4,3 % der Frauen in die Kategorien geringe, mittlere und starke Handynutzung eingeteilt wurden. Kinder von Müttern, die Mobiltelefone benutzen, hatten ein um 17 % (OR = 0,83, 95% CI: 0,77, 0,89) geringeres

bereinigtes Risiko für eine niedrige Satzkomplexität bei 3 Jahre, verglichen mit Kindern von Nichtnutzern. Das Risiko war um 13 %, 22 % und 29 % niedriger bei geringer, mittlerer und hoher mütterlicher Handynutzung. Außerdem hatten Kinder von Handynutzern im Alter von 3 Jahren ein geringeres Risiko für niedrige motorische Fähigkeiten als Kinder von Nichtnutzern, aber dieser Zusammenhang wurde im Alter von 5 Jahren nicht gefunden. Wir fanden keinen Zusammenhang zwischen mütterlicher Handynutzung und geringen Kommunikationsfähigkeiten. Wir berichteten über ein vermindertes Risiko für geringe sprachliche und motorische Fähigkeiten im Alter von drei Jahren im Zusammenhang mit pränataler Handynutzung, was durch eine verbesserte Mutter-Kind-Interaktion bei Handynutzern erklärt werden könnte. Es wurden keine Hinweise auf negative Auswirkungen der pränatalen Handynutzung auf die neurologische Entwicklung gefunden.

Anmerkung: Selbstberichtete Exposition. Es wurden keine Hinweise auf schädliche Auswirkungen der pränatalen Mobiltelefon-Nutzung auf die neurologische Entwicklung gemeldet.

24. Sudan et al., 2018.

Dänemark DNBC, Spanien INMA, und Korea MOCEH.

Untersucht wurde der Zusammenhang zwischen der mütterlichen Handynutzung während der Schwangerschaft und der kognitiven Leistung bei 5-jährigen Kindern. Diese Studie umfasste Daten aus drei Geburtskohorten: der Danish National Birth Cohort (DNBC) (n=1209), dem Spanish Environment and Childhood Project (INMA) (n=1383) und der Korean Mothers and Children's Environment Health Study (MOCEH) (n=497). In allen Kohorten wurden Informationen über die Handynutzung der Mütter während der Schwangerschaft und die kognitiven Leistungen der Kinder im Alter von 5 Jahren erhoben. Es wurde eine lineare Regression zur Berechnung der mittleren Unterschiede (MD) und der 95%-Konfidenzintervalle (CI) in den allgemeinen, verbalen und nonverbalen kognitiven Werten der Kinder durchgeführt, um die Häufigkeit der mütterlichen pränatalen Handynutzung zu vergleichen, wobei zahlreiche potenzielle Störfaktoren berücksichtigt wurden. Die Modelle wurden separat für jede Kohorte und unter Verwendung der gepoolten Daten in der Meta-Analyse berechnet. Es wurde kein Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der pränatalen Handynutzung und den kognitiven Werten der Kinder festgestellt. Die Werte waren in der Kategorie mit der höchsten Nutzungshäufigkeit tendenziell niedriger; die MD (95% CI) der allgemeinen kognitiven Werte 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 hohe Nutzungshäufigkeit im Vergleich zu niedriger Nutzungshäufigkeit. Dieses Muster war in allen kognitiven Dimensionen zu beobachten, aber die Ergebnisse waren insgesamt ungenau. Es wurden Muster niedrigerer mittlerer kognitiver Werte bei Kindern in Verbindung mit einer hohen Häufigkeit der mütterlichen pränatalen Handynutzung beobachtet. Die kausale Natur und der Mechanismus dieser Beziehung bleiben unbekannt.

Anmerkung: Selbstberichtete Exposition. Es wurden Muster von niedrigeren mittleren kognitiven Werten bei Kindern in Bezug auf eine hohe Häufigkeit der mütterlichen pränatalen Handy-Nutzung beobachtet.

25. Tsarna et al. (2019).

Dänemark, Niederlande, Spanien, Südkorea. 1996-2011. Vier bevölkerungsbasierte Geburtskohortenstudien, die am GERoNiMO-Projekt teilnehmen, nämlich die Danish National Birth Cohort (DNBC), die Amsterdam Born Children and Their Development Study (ABCD), das Spanish Environment and Childhood Project (INMA) und die Korean Mothers and Children's Environment Health Study (MOCEH).

Die Ergebnisse von Studien, die mögliche Auswirkungen der pränatalen Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen auf die Geburtsergebnisse 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) untersuchten wir, ob die mütterliche Handynutzung mit der Schwangerschaftsdauer und dem fetalen Wachstum in Verbindung steht. Auf der Grundlage der selbstberichteten Anzahl von Mobiltelefonanrufen pro Tag wurde die Exposition in keine, geringe (Referenz), mittlere oder hohe Exposition eingeteilt. Untersucht wurden die Schwangerschaftsdauer (Gestationsalter bei der Geburt, Früh-/Nachgeburt), das fetale Wachstum (Verhältnis des Geburtsgewichts, kleine/große Größe für das Gestationsalter) und Geburtsgewichtsvariablen (Geburtsgewicht, niedriges/hohe Geburtsgewicht) sowie meta-analytierte kohortenspezifische Schätzungen. Die Gruppe mit mittlerer Exposition hatte ein höheres Risiko, in einem niedrigeren Gestationsalter zu entbinden (Hazard Ratio = 1,04, 95% Konfidenzintervall: 1,01, 1,07), und es wurden Expositions-Wirkungs-Beziehungen für kürzere Schwangerschaftsdauer (P < 0,001) und Frühgeburt (P = 0,003) gefunden. Wir beobachteten keinen Zusammenhang mit dem fötalen Wachstum oder dem Geburtsgewicht. Die Nutzung von Mobiltelefonen durch die Mutter während der Schwangerschaft kann mit einer kürzeren Schwangerschaftsdauer und einem erhöhten Risiko für eine

Frühgeburt verbunden sein, aber diese Ergebnisse sollten mit Vorsicht interpretiert werden, da sie eher den Stress während der Schwangerschaft oder andere verbleibende Störfaktoren widerspiegeln könnten als eine direkte Auswirkung der Handyexposition.

Kommentar: Stress als Störfaktor. Ungewisser Zusammenhang.

26. Boileau et al., 2020.

Frankreich. 2014-2017. Prospektive, longitudinale, multizentrische Beobachtungskohortenstudie

Die Daten stammen aus der NéHaVi-Kohorte ("prospektive Nachbeobachtung von Kindern, die in Haute-Vienne geboren wurden, von der intrauterinen Entwicklung bis zum Alter von 18 Jahren"), einer prospektiven, longitudinalen, multizentrischen (drei Entbindungsstationen in Haute-Vienne) Beobachtungskohorte mit Schwerpunkt auf Kindern, die zwischen April 2014 und April 2017 geboren wurden. Hauptziel war die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und dem fötalen Wachstum. Es wurden univariate und multivariate Modelle erstellt, die für die Variablen der sozioprofessionellen Kategorie der Mutter und andere Variablen, die das fötale Wachstum beeinflussen könnten, angepasst wurden. Für die Analyse wurden 1378 Krankenblätter berücksichtigt, von denen 1368 Mütter (99,3 %) ihr Mobiltelefon während der Schwangerschaft nutzten. Die durchschnittliche Telefonierzeit betrug 29,8 Minuten (Bereich: 0,0-240,0 Minuten) pro Tag. Nach Anpassung hatten Neugeborene, deren Mütter ihr Mobiltelefon mehr als 30 Minuten/Tag nutzten, eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit, einen AUDI-POG-Score ≤ 10 . Perzentil zu haben, als diejenigen, 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 min und 15-30 min nutzten, gab es keinen signifikanten Zusammenhang mit einem AUDI-POG-Score ≤ 10 . aOR = 0,98 [0,58; 1,65] bzw. aOR = 1,68 [0,99; 2,82]. Die Nutzung eines Mobiltelefons für Anrufe von mehr als 30 Minuten pro Tag während der Schwangerschaft kann sich negativ auf das fetale Wachstum auswirken. Eine prospektive Studie sollte durchgeführt werden, um diesen möglichen Zusammenhang weiter zu untersuchen.

Kommentar: Eine Einschränkung des fötalen Wachstums wurde beobachtet, wenn die Mutter mehr als 30 Minuten pro Tag mit dem Handy telefonierte.

Table 12 - Reproductive/developmental effects in humans: man fertility, epidemiologic case-control studies (450-6000 MHz) (a)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments	
1. Al-Quzwini et al., 2016; Inq, 2014-2015. Case-control study.	100 randomly selected subfertile couples that attended the infertility clinic of Babylon Teaching Hospital for Maternity and Pediatric in Al-Hilla city in Iraq; 100 volunteers fertile couples fro staff or relatives from same hospital as control group.	Environmental exposure to electromagnetic radiation from mobile phone towers and occupational state was assessed by standard questionnaire.	Living near to mobile phone base station (<50m) and with power intensity of 71.226 mW/m2, duration of exposure to the electromagnetic radiation. Occupational exposure to work hazard (ex. "driver" sitting for long period, "worker" painters and construction workers and "militaries")	Seminal fluid analysis of the subfertile males. Odds ratios and 95% CI, and Chi-square test for differences.	Oligozoospermia among subfertile males, OR (95% CI)	Smoking	Inadequate Semen analysis was done for the subfertile males; because the fertile males (control group) refused to give semen samples.	
					Asthenospermia among subfertile males, OR (95% CI)			Teratozoospermia among subfertile males, OR (95% CI)
					1.8 (0.57-5.53)			1.07 (0.87-1.32)
	Type of hazard							
	Occupational							
	Environmental							
					1.03 (0.84-1.19)			
					1.19 (0.43-3.31)			
					2.6 (0.34-19.07)			

Table 13 - Reproductive/developmental effects in humans: man fertility, epidemiologic cross sectional -studies (450-6000 MHz) (occupational) (a)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Total Infertility <10 m from high-frequency aerials, OR (95% CI)	Test for linear trend (Mantel-Haenszel chi-square)	Total Infertility <3 m from communication equipment, OR (95% CI)	Test for linear trend (Mantel-Haenszel chi-square)	Risk estimate (95% CI)	Any Other co-Exposure/adjustments	Comments					
2. Baate et al., 2008. Norway, 2002-2004. Cross-sectional study	9925 current and former male military employees in the Royal Norwegian Navy, defined by the military employment list (M); mean age 49.	High-frequency aerials, communication equipment, radar. Self-assessed occupational exposure and age categories assessed by mail questionnaire.	Exposure to radiofrequency electromagnetic fields, work closer than 10 m from high-frequency aerials, work closer than 3 m from communication equipment and work closer than 5 m from radar.	Infertility. Odds ratios and 95% CI from adjusted logistic regression models; Mantel-Haenszel test for linear trend.	1.00 (ref.)	0.013	1.00 (ref.)	0.077	1.00 (ref.)	0.001	Infertility. Odds ratios and 95% CI from adjusted logistic regression models; Mantel-Haenszel test for linear trend.	Adequate/Positive				
					Not exposed											
					Low	1.10 (0.30-4.07)	0.013	1.00 (ref.)	0.077	1.00 (ref.)			0.001	1.00 (ref.)	0.001	
					Some	1.86 (0.54-6.40)		1.86 (0.54-6.40)		1.86 (0.54-6.40)				0.87 (0.25-2.99)		
					High	0.71 (0.15-3.34)		3.56 (1.05-12.08)		3.56 (1.05-12.08)				2.13 (0.64-7.06)		
					Very high	3.84 (1.09-13.52)		3.50 (0.83-14.78)		3.50 (0.83-14.78)				1.11 (0.20-6.00)		
						2.70 (0.76-9.53)		2.49 (0.60-10.42)		2.49 (0.60-10.42)				5.09 (1.59-16.30)		
					Age 30-39											
					Not exposed											
					Low	1.00 (ref.)	0.011	1.00 (ref.)	0.007	1.00 (ref.)			0.005	1.00 (ref.)	0.005	
					Some	1.24 (0.83-1.87)		1.53 (1.04-2.26)		1.53 (1.04-2.26)				1.46 (0.99-2.15)		
					High	1.36 (0.90-2.04)		1.88 (1.25-2.82)		1.88 (1.25-2.82)				1.32 (0.87-2.02)		
Very high	1.51 (0.97-2.37)		1.76 (1.11-2.80)		1.76 (1.11-2.80)		1.79 (1.14-2.82)									
	1.72 (1.08-2.74)		1.80 (1.10-2.96)		1.80 (1.10-2.96)		1.91 (1.19-3.07)									
Age 40-49																
Not exposed																
Low	1.00 (ref.)	<0.001	1.00 (ref.)	<0.001	1.00 (ref.)	0.002	1.00 (ref.)	0.002								
Some	1.46 (1.03-2.07)		1.04 (0.75-1.45)		1.04 (0.75-1.45)		1.22 (0.87-1.71)									
High	1.43 (0.99-2.07)		1.28 (0.91-1.81)		1.28 (0.91-1.81)		1.24 (0.87-1.79)									
Very high	1.82 (1.21-2.75)		1.37 (0.91-2.08)		1.37 (0.91-2.08)		1.59 (1.05-2.41)									
	1.90 (1.20-3.01)		1.86 (1.18-2.94)		1.86 (1.18-2.94)		1.50 (0.95-2.35)									
Age >50																
Not exposed																
Low	1.00 (ref.)	<0.001	1.00 (ref.)	<0.001	1.00 (ref.)	0.001	1.00 (ref.)	0.001								
Some	1.28 (0.96-1.69)		1.02 (0.78-1.34)		1.02 (0.78-1.34)		1.11 (0.84-1.46)									
High	1.59 (1.20-2.11)		1.31 (0.99-1.73)		1.31 (0.99-1.73)		1.58 (1.20-2.09)									
Very high	2.02 (1.45-2.81)		1.71 (1.23-2.37)		1.71 (1.23-2.37)		1.39 (0.98-1.97)									

Table 13 - Reproductive/developmental effects in humans: man fertility, epidemiologic cross-sectional studies (450-6000 MHz) (occupational) (continue b)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments				
3. Møllerleikken et al., 2008. Norway, 2002. Cross-sectional study.	2265 (M) employees who were currently serving in the Navy, both military and civilians. Mean age of 36 years of age, range 20–62.	Occupational exposure from military communication equipment. Information on occupational history from mail questionnaire. An expert group determined work categories related to electromagnetic field exposure.	Workers in the radar/sonar, the telecommunication, electronics, other jobs (unexposed).	Infertility, Biological Children, Anomalies, Chromosomal Errors, Preterm and Stillbirths or Infant Deaths. Incidence of outcome by exposure group (%): Chi2 or Fisher Exact Tests to assess significance of differences among groups.	<p>Infertility - % (p-value from Chi2 tests)</p> <p>Having biological children - % (p-value from Chi2 tests)</p> <p>Children with anomalies or chromosomal errors - % (p-value from Chi2 or Fisher's Exact tests)</p> <p>Children with preterm births - % (p-value from Chi2 or Fisher's Exact tests)</p> <p>Stillbirths and infant deaths within 1 year - % (p-value from Fisher's Exact tests)</p>	Age, ever smoked, military education, and physical exercise at work.	Adequate /positive				
			Other jobs (unexposed group)		8.6			62.0	3.5	7.9	2.3
			Telecommunication workers (communication equipment, radio)		14.8 (0.01)			63.5 (0.70)	6.0 (0.18)	10.8 (0.18)	3.6 (0.22)
			Electronics (electronics for weapons and communication systems)		12.1 (0.15)			58.6 (0.40)	1.8 (0.19)	9.5 (0.44)	1.8 (0.47)
			Radar/sonar workers (radar)		17.5 (<0.01)			70.4 (0.10)	7.1 (0.11)	9.1 (0.37)	2.0 (0.61)

Table 13 - Reproductive/developmental effects in humans: man fertility, epidemiologic cross-sectional studies (450-6000 MHz) (continued c)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)				Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments	
4. Fejcz et al. 2005. Hungary. Cross-sectional study.	611 consecutive Caucasian men of reproductive age from clinic for infertility problems.	Self reported	Duration of possession (in months), duration of standby position closer than 50 cm to the patient (in hours) and duration of daily transmission (in minutes).	Quality of semen. Parametric t-test and the Pearson correlation tests were applied.	Volume (ml), correlation, p-value	Sperm concentration (mln/ml)	Total motility (%)	Total sperm count (mln/ejaculate)	Total motile sperm count (mln/ejaculate)	Occupational exposure to some chemical pesticides, petroleum, solvents, lead and nitrosamines, tobacco consumption. Many confounders not analysed	Inadequate
					-0.02, 0.64	-0.01, 0.91	-0.08, 0.14	-0.01, 0.81	-0.03, 0.53		
					0.05, 0.42	-0.01, 0.39	-0.03, 0.64	-0.05, 0.41	-0.07, 0.22		
					-0.01, 0.84	0.04, 0.84	-0.07, 0.16	0.03, 0.58	0.00, 0.54		
5. Jurewicz et al. 2014, and Radwan et al. 2016. Poland. Cross-sectional study.	344 men, age <45 years, attending infertility clinics in Lodz, Poland in 2008-2011 for diagnostic purposes.	Modifiable lifestyle factors, among which use of cell phone, assessed using self-administered questionnaire.	Duration of exposure from use of cell phones, assessed in years.	Semen quality (WHO 1999 reference values) and DNA fragmentation. Multiple linear regressions were used to assess association.	Coeff for cell phone use, 0-5 years (p-value)	Coeff for cell phone use, 6-10 years (p-value)	Coeff for cell phone use, 11-25 years (p-value)			Using cell phone more than 10 years decreased the percentage of motile sperm cells	Adequate/positive
					1.16 (ref.)	-0.06 (0.32)	-0.01 (0.84)				
					3.03 (ref.)	0.29 (0.22)	0.42 (0.13)				
					60.77 (ref.)	-4.13 (0.30)	-11.27 (0.01)				
					45.73 (ref.)	4.44 (0.42)	19.00 (0.01)				
					32.42 (ref.)	2.28 (0.69)	17.58 (0.01)				
					12.04 (ref.)	-0.25 (0.86)	0.12 (0.94)				
					2.02 (ref.)	-0.01 (0.96)	-0.02 (0.93)				
					2.52 (ref.)	0.01 (0.97)	0.20 (0.22)				

Table 13 - Reproductive/developmental effects in humans: man fertility, epidemiologic cross-sectional studies (450-6000 MHz) (continued e)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments
8. Al-Bayyari, 2017. Jordan, 2015-2016. cross-sectional observational study.	159 men attending infertility clinics at North, Middle and South Governorates in Jordan.	Daily habits of cell phone use assessed from interviews using a structured questionnaire.	Time of talking by cell phone.	Semen quality. The Pearson's Chi-square (χ^2) and Fisher's exact tests were applied to assess the association.	Total daily talking time (≤ 1 h/day vs > 1h/day), p-value	All from an Infertility clinic	Inadequate
				Sperm concentration (cut-off 20 mlb/ml)	0.494		
				Volume (cut-off 3 ml)	0.457		
				Viscosity (Normal vs abnormal)	0.556		
				Liquefaction time (cut-off 20 min)	0.534		
				Sperm motility (%)	n.s.		
				Sperm morphology (%)	n.s.		
9. Shi et al., 2018. China, 2015-2016. Cross-sectional study.	328 men <65 years, attending clinics for sperm analysis.	Use of cell phone assessed using self-report questionnaire.	Habit to carry phone in trousers.	SA, sperm vitality, acrosome reaction (AR) assay and sperm DNA fragmentation index (DFI). Generalized additive models were used to analyze the possible non-linear association.	Duration of trousers pocket cell phone use (hours/day)	BMI, smoking and alcohol drinking, sleep, daily fluid intake, weekly meat intake, sports frequency, trouser cell phone use, age, abstinence time.	Inadequate
				Volume	n.s.		
				Concentration	n.s.		
				TSC	n.s.		
				Motility	n.s.		
				TMC	n.s.		
				Vitality	n.s.		
				DFI	n.s.		
				AR	n.s.		
				10. Blay et al., 2020. Ghana, 2004-2015. Cross-sectional study.	80 men, 21-62 years, recruited from a fertility clinic in Accra, Ghana.		
Volume	0.884						
pH	0.741						
Active motility (%)	0.002						
Sluggish motility (%)	0.269						
				Increased activity and viability associated to cell phone in their side pocket			

Sluggish motility (%)	0.486	All from an infertility clinic
Viability (%)	0.009	
Count (x 10 ⁶ /ml)	0.109	

Table 14 - Reproductive/developmental effects in humans: man fertility epidemiologic cohort studies (450-6000 MHz) (a)

Study information	Population	Type of exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments	
11. Zhang et al., 2016. China, 2013-2015, MARHCS cohort study	794 (2013), 666 (2014) and 568 (2015) young men, age < 18 years, college students, enrolled in the Male Reproductive Health in Chongqing College Students (MARHCS) study.	Use of mobile cell phones, assessed using a questionnaire.	Number of cell phones owned, presence of 3G function, duration of cell phone use, position in which they carry the cell phone, daily duration that the cell phone is turned on (within 50 cm near the body), daily internet time or monthly data traffic via cellular networks, and daily time spent talking on the cell phone in the last three months.	Sperm parameters. Mixed-effects linear regression model was used to globally assess all three years of data on cell phone use and semen parameters	Sperm concentration (mln/ml), Coeff from mixed effects model (95% CI), p-value	Age, duration of abstinence, body mass index (BMI), smoking and drinking status, and the consumption of cola, coffee, and fried food	Adequate/positive	
					Volume (ml), Coeff from mixed effects model (95% CI), p-value			Total sperm count (mln), Coeff from mixed effects model (95% CI), p-value
					Progressive motile sperm (mln), Coeff from mixed effects model (95% CI), p-value			
			Duration of cell phone use (h)		-2.90 (-6.91, 1.27), 0.170			
			Internet use via cellular network (h, 2013)		-2.19 (-4.39, 0.06), 0.036			
			Monthly data traffic (GB, 2014-2015)		0.42 (-0.71, 1.56), 0.472			
					-2.74 (-4.53, -0.91), 0.004			
					-4.87 (-9.27, -0.27), 0.038			
					-0.77 (-2.71, 1.22), 0.445			
					-2.75 (-4.76, -0.69), 0.009			
					-3.22 (-5.85, -0.52), 0.020			
					-1.47 (-2.74, -0.19), 0.025			
					-1.65 (-4.04, 0.80), 0.185			
					0.51 (-0.29, 1.32), 0.213			
					0.19 (-1.08, 1.48), 0.770			

Table 14 - Reproductive/developmental effects in humans: man fertility epidemiologic cohort studies (450-6000 MHz) (continued b)

Study information	Population	Type of exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)					Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments
					Absolute differences [β (95% CI)], Semen volume	Absolute differences [β (95% CI)], Total motility	Relative differences [exp(β) (95% CI)], Sperm concentration	Relative differences [exp(β) (95% CI)], Total motile sperm count	Relative differences [exp(β) (95% CI)], Normal sperm morphology		
12. Lewis et al., 2017, USA, 2004-2015. Longitudinal cohort study.	384 (M); 18-56 years; Men recruited from a fertility clinic in Boston, Massachusetts; enrolled in the Environment and Reproductive Health (EARTH) Study.	Mobile phones radiofrequency; Self-reported exposure from mobile phone.	Use, duration (no use, <2 h/day, 2-4 h/day, >4 h/day), headset or earpiece use (H/E, N H/E), and location in which the mobile phone was carried (pants pocket, belt, bag, other).	Sperm motility, total sperm count, total motile sperm count, sperm morphology. Strict Kruger scoring criteria was used to classify men as having normal or below normal morphology by blinded semen analysts. Linear mixed-effects models with random subject effects.	0 (ref.)	0 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	General characteristics, medical history, particularly disorders of the immune system, smoking habits. All from an infertility clinic	Adequate/positive
			No Use		0 (ref.)	0 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)		
			<2 h/day, H/E		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 h/day, N H/E		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 h/day, H/E		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 h/day, N H/E		-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)	

Table 15 – Reproductive/developmental effects in humans: developmental effects, epidemiologic case-control studies (450–6000 MHz) (a)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments	
13. Tan et al., Singapore. November 2010 and February 2011. Case-control study	Women with threatened miscarriage during the 5th to 10th weeks of gestation seen at emergency clinic KK Womens and Childrens Hospital (KKH) in Singapore. (F). Mean age of cases and controls were 30.2 and 30.7, respectively.	Potentially modifiable lifestyle factors were assessed by face-to-face interview with cases and controls, conducted at the time of recruitment. Mobile phone and computer usage were quantified as self-reported number of hours of use per day based on the most recent one week.	Exposure to radiofrequency electromagnetic fields of cell phone and television. Greater duration of mobile phone use or computer use was associated with higher risk of threatened miscarriage, with dose-response relationship	Association between potential lifestyle risk factors (cell phone and TV usage) and threatened miscarriage: results of adjusted logistic regression analysis. Multivariate analysis adjusting for all confounders and for gestational age.	<p>Adjusted odds ratio (95% Confidence Interval):</p> <p>1</p> <p>2.94 (1.32–6.53)</p> <p>6.32 (2.71–14.75)</p> <p>1</p> <p>2.66 (1.16–6.09)</p> <p>6.03 (2.82–12.88)</p>	Maternal age, paternal age, gestational age, ethnicity, height, weight, regularity of menstrual cycle, housing type, educational level, past medical/ pregnancy/ gynaecological/ psychiatric history, urrent and past cigarette smoking, exposure to second-hand cigarette smoke at home, current and past alcohol consumption, current and past caffeine Consumption, perceived stress levels, DHA consumption, and most recent contraceptive use	Adequate/positive	
			Handphone use					
			Computer use					
14. Mahmoodabadi et al., 2015. Iran. Before 2015. Case-control study	292 women who had an unexplained spontaneous abortion at < 14 weeks gestation and 308 matching pregnant women > 14 weeks gestation were enrolled. The subjects were recruited from 10 hospitals in Tehran.	Data collection form was completed to collect data about the use of cell phones during pregnancy.	Average calling time per day, the location of the cell phones when not in use, use of hands-free equipment, use of phones for other applications, the specific absorption rate (SAR) reported by the manufacturer and the average of the effective SAR (average duration of calling time per day × SAR).	Spontaneous abortions. Logistic regression model was used to calculate OR and 95% CI; *T student test, ** Chi square test or Fisher's exact test were used to assess association.	<p>OR (95% CI)</p> <p>1.11 (1.07-1.16)</p> <p>P(2-tailed)</p> <p><0.001</p> <p>0.09</p> <p><0.001</p> <p><0.001</p> <p><0.001</p> <p><0.001</p>	Effective SAR, maternal age, paternal age, history of abortion and family relationship Life style confounders not analysed	Adequate/positive	
			Association of spontaneous abortions with the effective SAR (Specific Absorption Rate)					
			Calling time per day* (minutes) Mean ± SD					
			Use of hands free** n (%)					
			location of phones when not in use** n (%)					
			use of phone for other applications **n (%)					
Effective SAR* Mean ± SD								

Table 16 – Reproductive/developmental effects in humans: developmental effects, epidemiologic cross-sectional studies (450-6000 MHz) (a)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments		
15. Col Araz et al., 2013. Turkey. 2009. Cross-sectional study.	500 mothers from the Outpatient Clinic, Dept of Paediatrics, Gaziantep University.	Use of television, computer and mobile phones during pregnancy assessed using a self-administered questionnaire	Cell phone use, computer use (User vs non-user).	Birth weight and preterm birth. The Chi-square test, independent samples t-test, and OR and 95% CI from logistic regression analysis were used.	Delivery before 37 weeks, χ^2 (p-value)	Socio-demographic information, mothers weight, height, weight gained, consumption of tobacco and alcohol during pregnancy, disease history, observance of religious fasting during pregnancy, consumption of tea, milk and yoghurt, birth week and birth weight of the other children, if any.	Adequate /positive		
			Cell phone use		5.584 (<0.018)	Delivery week, mean \pm SD			
			User			38.7 \pm 1.9			
			Non user			39.2 \pm 1.6			
			Duration of cell phone use						
			\leq 1h/day			37.6 \pm 2.2			
			> 1h/day			38.8 \pm 1.8			
			Computer use						
			User			4.510 (<0.034)			
			Non user			38.5 \pm 1.8			
16. Zareh S. et al., 2015. Iran, 2014. Cross-sectional study.	Mothers of 35 healthy children (control group) and 77 children aged 3-5 year and diagnosed with speech problems (P).	Different sources of electromagnetic fields (both RF-EMF and ELF) such as mobile phones, mobile base stations, Wi-Fi, cordless phones, laptops and power lines. Self-assessed exposure to different sources of electromagnetic fields.	Duration of cell phone use	Speech problems in offspring. A P-value of less than 0.05 was considered as significant.	Speech problems, P-value of association measure	Age, proportion of consanguineous marriage, smoking, dental radiography history, mean number of pregnancies	Inadequate		
			Duration of cell phone use						
			\leq 1h/day			Not reported			
			> 1h/day			Not reported			
			The mean daily (mobile phone) call time was about 20 min. Call time, history of mobile phone use (months used), average duration of daily call time, cordless phone use and CRT use during pregnancy.						
			call time			0.002			
			history of mobile phone use			0.003			
			average duration of daily call time during pregnancy			N.S.			
			cordless phone use			0.528			
			CRT use			0.990			

Table 16 - Reproductive/developmental effects in humans: developmental effects, epidemiologic cross-sectional studies (450-6000 MHz) (continued b)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments	
17. Abad et al., 2016. Iran, 2009. Cross-sectional study.	413 pregnant women (18-35 years of age) from the Tehran region. Reproductive information was collected using medical file recorded in those hospitals the subjects had delivery.	Environmental exposure to EMF (range 27 MHz-3 GHz) assessed using NARDA at the entrance door of their houses three times during the pregnancy (semesters 1, 2, 3). Other information assessed using a face-to-face interview.	Environmental exposure to EMF.	Miscarriage (spontaneous abortion, LBW, preterm delivery, and Intra Uterine Fetal Death). Independent samples t-test.			Inadequate	
			Digital radio and television broadcast services in central frequency 650 MHz		Miscarriage, p-value from t-test			
			Mobile communications services 1.5 GHz		0.85			
18 Lu et al. 2017. Japan, 2012-2014. Cross sectional study from cohort data.	461 mother and child pairs (M and F). Data from the Japan Environment and Children's Study (JECS) and JECS Adjunct Study in Kumamoto.	Mobile phones radiofrequencies; Self-assessed exposure from self-administered questionnaires on maternal mobile phone usage information during pregnancy. A short version of the Self-Perception of Text-Message Dependency Scale (STD5) was used in this study for assessing text message dependency.	Wi-Fi access and MISC in central frequency 2.45 GHz		0.67			
			Daily mobile phone use times, location of the phone during the day and at night, and power state (on/off) of the mobile phone during sleep). A cut-off of 15 points for the excessive use score in the STD5 was used to determine excessive mobile phone use.	Birth weight and infant health status (birth height, birth head circumference, birth chest circumference, mode of delivery, weeks of pregnancy, placental weight, low birth weight), infant emergency transport, and premature birth; linear regression analysis was used.		0.42		Inadequate
			Daily mobile phone use		Adjusted OR (95%CI) for Birth weight	Adjusted OR (95%CI), Infant emergency transport	Adjusted OR (95%CI), Premature birth	Maternal age, birth height, maternal BMI before pregnancy, maternal age, birth head circumference, primiparity, maternal smoking.
			Normal users		0 (ref.)	1.00 (ref.)		
			Mobile excessive users		-66.46 (-114.46--18.46)	7.93 (1.40-44.85)	0.67 (0.09-4.97)	

Table 17 - Reproductive/developmental effects in humans: developmental effects, epidemiologic cohort studies (450-6000 MHz) (a)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments						
19. Mjølten et al., 2006. Norway, 1976-1995, Cohort study.	541593 births (M and F). Data on all births registered between 1976 and 1995 in Norway from the Medical Birth Registry of Norway. The Norwegian general population censuses contain data on occupations coded according to the Nordic Classification of Occupations.	Paternal occupation categorized as "probably not exposed", "possibly exposed" and "probably exposed", reflecting probability of exposure to RFR. An expert panel assessed exposure to radiofrequency fields in the various occupations.	Level of exposure assigned from experts.	Birth defects, the total number of CNS and musculoskeletal limb defects, and all categories combined, preterm delivery, low birth weight, sex ratio and perinatal mortality. Relative risks for each exposure category were calculated by approximating odds ratios (OR) with 95% confidence intervals (CI) from logistic regression models.	Preterm delivery (<37 weeks) - OR (95% CI)	Calendar year, place of birth and level of education.	Adequate/negative						
					1.00 (ref.)			Early stillbirth (between 16 and 28 weeks) - OR (95% CI)	1.00 (ref.)				
					0.99 (0.96-1.02)			Low birth weight (<2,500 g) - OR (95% CI)	1.00 (ref.)	1.03 (0.98-1.07)	Late stillbirth (after 28 weeks) - OR (95% CI)	1.00 (ref.)	1.01 (0.92-1.11)
			Probably not exposed		1.08 (1.03-1.15)				0.98 (0.79-1.22)	0.99 (0.97-1.02)	0.94 (0.86-1.01)		
			Possibly exposed		1.03 (0.94-1.13)				1.01 (0.91-1.12)	1.01 (1.00-1.03)	0.98 (0.94-1.02)		
			Probably exposed		1.03 (0.94-1.15)				0.98 (0.89-1.29)	0.99 (0.97-1.02)	0.94 (0.86-1.01)		

Table 17 - Reproductive/developmental effects in humans: developmental effects, epidemiologic cohort studies (450-6000 MHz) (continued b)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments			
20. Divan et al., 2008 and Divan et al., 2011, Denmark. Children born between 1997 and 2002. Cohort study.	41541 children (F and M). Mothers and live-born children constitute 2 fixed cohorts. Child's health status assessed at 7th year of age using an internet-based Questionnaire.	Cell phone and cordless phone use, assessed via four telephone interviews.	Cell phone use among children, among mothers during pregnancy (mother's use of cell phone during pregnancy, use of hands-free equipment during pregnancy (proportion of time) and location of the phone when not in use (handbag or clothing pocket), and for children, current use of cellular and other wireless phones.	Cognitive/language development delays, motor development delays and behavioural problems assessed using the "Strengths and Difficulties Questionnaire". Odds ratios and 95% CI from adjusted logistic regression models.	Cognitive/lang usage development delay at 6 months- Adjusted OR (95% CI)	Motor development delay at 6 months- Adjusted OR (95% CI)	Cognitive/lang usage development delay at 18 months- Adjusted OR (95% CI)	Motor development delay at 18 months- Adjusted OR (95% CI)	Overall Behavioural Problems Score at 7 years- Adjusted OR (95% CI)	Adequate/Negative Exposure to cell phones prenatally—and, to a lesser degree, postnatally—was associated with behavioural difficulties such as emotional and hyperactivity problems around the age of school entry.
					1.00 (ref.)	1.12 (0.97–1.30)	1.21 (1.05–1.40)	1.21 (1.05–1.40)	1.58 (1.29–1.93)	
					1.0 (0.7–1.4)	1.06 (0.92–1.23)	1.02 (0.89–1.18)	1.02 (0.89–1.18)	1.18 (0.96–1.45)	
					0.8 (0.4–1.3)	1.25 (1.07–1.47)	1.49 (1.28–1.74)	1.49 (1.28–1.74)	1.80 (1.45–2.23)	
					0	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	
					0-1	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	
					2-3	0.8 (0.5–1.0)	0.8 (0.5–1.0)	0.7 (0.5–1.0)	1.33 (0.99–1.79)	
					4+	0.6 (0.3–1.0)	0.6 (0.3–1.0)	1.2 (0.8–1.8)	1.51 (1.02–2.22)	
					Prenatal: Percentage of time turned on					
					0	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	
<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)					

Table 17 - Reproductive/developmental effects in humans: developmental effects, epidemiologic cohort studies (450-6000 MHz) (continued c)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure /adjustments	Comments							
21. Guxens et al., 2013. Netherlands, 2003-2004 enrollment, 2008-2009 assessment of behavioural problems; 2010-2011 retrospective exposure assessment. Study embedded in a population-based prospective birth cohort study.	8266 pregnant women, 2618 children (F and M). Pregnant women enrolled during their first prenatal visit to an obstetric care provider. Prenatal phone use assessed retrospectively with postal or via web questionnaire at children 7th year, and child behaviour problems assessed at children 5th year.	Cell phones and cordless phones use during pregnancy. Self-assessed exposure from questionnaire. Given the introduction of Universal Mobile Telecommunications System technology in the Netherlands in the beginning of 2004, mobile phone use reports were expected to be nearly exclusively Global System for Mobile Communications (GSM) 900/1800 technology.	Frequency of cell phone calls were set to 75% of the number of calls for those reporting to use the hands-free equipment 'less than half of the calls', to 25% for those reporting to use it 'more than half of the calls', and to 0 for those reporting to use it 'nearly always'.	Children's behaviour (emotional symptoms, conduct problems, hyperactivity/matt enion problems, peer relationship problems and pro-social behaviour) reported by primary school teachers and mothers using the Strengths and Difficulties Questionnaire (SDQ) at age 5. Odds ratios and 95% CI from unadjusted and adjusted logistic regression models.	Teacher-reported child overall behaviour problems, Unadjusted model -OR (95% CI)	Teacher-reported child overall behaviour problems, Adjusted model -OR (95% CI)	Mother-reported child overall behaviour problems, Unadjusted model -OR (95% CI)	Mother-reported child overall behaviour problems, Adjusted model -OR	Maternal age, maternal educational level, maternal country of birth, maternal parity, maternal pre-pregnancy weight and height, maternal smoking, maternal second-hand smoke at home, maternal alcohol consumption during pregnancy, maternal pregnancy-related anxiety and maternal anxiety and depression during pregnancy, children's birth addresses as indicator of socioeconomic position.	Adequate/negative				
			None		1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)						
			<1/day		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/day		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/day		1.88 (0.82 - 4.34)	2.04 (0.86 - 4.80)	0.77 (0.29 - 2.06)	0.75 (0.27 - 2.09)						
			Prenatal frequency of cell phone call											
			Prenatal frequency of cordless phone call											
			None		1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)						
			<1/day		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/day		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/day	0.50 (0.23 - 1.09)	0.61 (0.27 - 1.35)	0.40 (0.15 - 1.07)	0.43 (0.15 - 1.21)										

Table 17 - Reproductive/developmental effects in humans: developmental effects, epidemiologic cohort studies (450–6000 MHz) (continued d)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments																																																
22. Choi et al., 2017, South Korea, 2006–2016, Multi-center prospective cohort study (the Mothers and Children's Environmental Health (MOCEH) study).	1198 mother-infant pairs (M and F). Participants were enrolled at ≤20 weeks gestation.	RFR sources of exposure, including cell phone, TV, radio, working on the internet, and mobile phone base stations. Self-assessed exposure from questionnaire regarding average calling frequency (≤2, 3–5, and ≥6 times/day) and average calling time (< 3, 3–10, 10–30, and ≥30 min/day) during pregnancy.	Heavy user defined as calling frequency >6 times per day or calling time >30 min per day. Categories by average calling time (min/day)	MDI: Mental development index. PDI: Psychomotor development index.	<p>OR (95% CI) for decreasing MDI (6–36 months)</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>Low Maternal blood lead during pregnancy (< 75%)</td> <td>High Maternal blood lead during pregnancy (>75%)</td> <td>p-interaction</td> </tr> <tr> <td>All</td> <td>0.50 (0.30-0.83)</td> <td>0.71 (0.42-1.21)</td> <td>0 (0-Inf)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1.00 (ref.)</td> <td>1.00 (ref.)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.85 (0.60-1.19)</td> <td>0.86 (0.57-1.28)</td> <td>2.11 (0.67-6.68)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.63 (0.37-1.08)</td> <td>0.76 (0.43-1.34)</td> <td>0 (0-Inf)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.86</td> <td>0.48</td> <td>0.05</td> </tr> </table> <p>OR (95% CI) for low PDI (6–36 months)</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>Low Maternal blood lead during pregnancy (< 75%)</td> <td>High Maternal blood lead during pregnancy (>75%)</td> <td>p-interaction</td> </tr> <tr> <td>All</td> <td>0.47 (0.24-0.94)</td> <td>0.41 (0.19-0.92)</td> <td>0.45 (0.23-0.89)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1.00 (ref.)</td> <td>1.00 (ref.)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.77 (0.49-1.23)</td> <td>0.81 (0.49-1.35)</td> <td>1.10 (0.69-1.76)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.64 (0.32-1.29)</td> <td>0.73 (0.36-1.48)</td> <td>1.56 (0.74-3.26)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.54</td> <td>0.26</td> <td>0.008</td> </tr> </table>		Low Maternal blood lead during pregnancy (< 75%)	High Maternal blood lead during pregnancy (>75%)	p-interaction	All	0.50 (0.30-0.83)	0.71 (0.42-1.21)	0 (0-Inf)		1.00 (ref.)	1.00 (ref.)			0.85 (0.60-1.19)	0.86 (0.57-1.28)	2.11 (0.67-6.68)		0.63 (0.37-1.08)	0.76 (0.43-1.34)	0 (0-Inf)		0.86	0.48	0.05		Low Maternal blood lead during pregnancy (< 75%)	High Maternal blood lead during pregnancy (>75%)	p-interaction	All	0.47 (0.24-0.94)	0.41 (0.19-0.92)	0.45 (0.23-0.89)		1.00 (ref.)	1.00 (ref.)			0.77 (0.49-1.23)	0.81 (0.49-1.35)	1.10 (0.69-1.76)		0.64 (0.32-1.29)	0.73 (0.36-1.48)	1.56 (0.74-3.26)		0.54	0.26	0.008	Occupational exposure to some chemical pesticides, petroleum, solvents, lead and nitrosamines, tobacco consumption.	Inadequate
				Low Maternal blood lead during pregnancy (< 75%)		High Maternal blood lead during pregnancy (>75%)	p-interaction																																																
			All	0.50 (0.30-0.83)		0.71 (0.42-1.21)	0 (0-Inf)																																																
				1.00 (ref.)		1.00 (ref.)																																																	
				0.85 (0.60-1.19)		0.86 (0.57-1.28)	2.11 (0.67-6.68)																																																
				0.63 (0.37-1.08)		0.76 (0.43-1.34)	0 (0-Inf)																																																
				0.86		0.48	0.05																																																
				Low Maternal blood lead during pregnancy (< 75%)		High Maternal blood lead during pregnancy (>75%)	p-interaction																																																
			All	0.47 (0.24-0.94)		0.41 (0.19-0.92)	0.45 (0.23-0.89)																																																
				1.00 (ref.)		1.00 (ref.)																																																	
	0.77 (0.49-1.23)	0.81 (0.49-1.35)	1.10 (0.69-1.76)																																																				
	0.64 (0.32-1.29)	0.73 (0.36-1.48)	1.56 (0.74-3.26)																																																				
	0.54	0.26	0.008																																																				
Average calling time (min/day)					Maternal blood lead level as main confounding factor.																																																		
<3																																																							
3-10																																																							
10-30																																																							
>30																																																							
P for trend																																																							
Average calling time (min/day)																																																							
<3																																																							
3-10																																																							
10-30																																																							
>30																																																							
P for trend																																																							

Table 17 - Reproductive/developmental effects in humans: developmental effects, epidemiologic cohort studies (450-6000 MHz) (continued e)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	ANY Other Co-Exposure/adjustments	Comments
23. Papadopoulou et al., 2017. Norway, 1999-2008. Norwegian mother and child cohort study (MoBa).	45389 mother-child pairs (M and F), participants of the MoBa, recruited at mid-pregnancy. Information assessed by questionnaires.	Maternal frequency of cell phone use in early pregnancy, assessed by a questionnaire administered at 17th and 30th weeks of gestation.	Frequency of talking on the cell phone: "seldom/never" (no use), "few times a week" (low), "daily" (medium), and "more than an hour daily" (high use).	Child language, communication and motor skills at 3 (45389 mother-child pairs) and 5 years (17310 mother-child pairs). Adjusted OR and 95% C.I. from logistic regression to estimate the associations.	Risk for lower sentence complexity at 3 years- Adjusted OR (95% C.I.)	Parity, maternal age, education and year of delivery.	Adequate /negative
			Maternal cell phone use in early pregnancy		1 (ref)		
			No use		0.83 (0.77, 0.89)		
			Any use		0.87 (0.81, 0.94)		
			Low		0.78 (0.72, 0.84)		
Medium	0.71 (0.62, 0.81)						
High	<0.001						
24. Sudan et al., 2018. Denmark 1996-2002. Spain 2003-2008. South Korea 2006-2011. Data from 3 birth cohorts, part of the Generalized EMF Research using Novel Methods (GERONIMO) Project.	3089 mother-child pairs participating in the Danish National Birth Cohort (DNBC) (n=1209), the Spanish Environment and Childhood Project (INMA) (n=1383), and the Korean Mothers and Children's Environment Health Study (MOCEH) (n=697).	Maternal cell phone use during pregnancy, assessed during pregnancy (ES and KO) or 7 years after birth (DK).	Frequency of talking on the cell phone: "seldom/never" (no use), "few times a week" (low), "daily" (medium), and "more than an hour daily" (high use). In the DNBC, ABCD, and INMA cohorts, no exposure corresponded to no cell-phone use, low exposure to ≤1 calls/day, intermediate exposure to 2-3 calls/day, and high exposure to ≥4 calls/day. In the MOCEH cohort, no exposure corresponded to no cell-phone use, low exposure to ≤2 calls/day, intermediate exposure to 3-5 calls/day, and high exposure to ≥6 calls/day.	Cognitive performance in children at age 5. Linear regression to compute mean differences (MD) and 95% confidence intervals (CI).	General cognition, Adjusted OR (95% C.I.)	Sex of child, age of child, maternal IQ, maternal age, parity, mother's history of psychological distress, maternal education, paternal education, prenatal smoking, prenatal alcohol use, and maternal pre-pregnancy BMI	Adequate /equivocal
			Maternal cell phone use in early pregnancy		0.78 (-0.76, 2.33)		
			No use		1.42 (-1.12, 3.96)		
			Low		1 (ref)		
			Medium		0.11 (-0.23 (-1.29, 0.83)		
High	-0.41 (-1.54, 0.73)						
					Verbal cognition, Adjusted OR (95% C.I.)		
					Non-verbal cognition, Adjusted OR (95% C.I.)		

Table 17 - Reproductive/developmental effects in humans: developmental effects, epidemiologic cohort studies (450-6000 MHz) (continued f)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)				Any Other Co-Exposure/Adjustments	Comments
25. Tsarna et al., 2019. Denmark 1996-2002, Spain 2003-2008, South Korea 2006-2011. Data from 3 birth cohorts, part of the Generalized EMF Research using Novel Methods (GERoNIMO) Project.	55507 mother-child pairs (M and F) participating in the Danish National Birth Cohort (DNBC), the Spanish Environment and Childhood Project (INMA), and the Korean Mothers and Children's Environment Health Study (MOCEH).	Use of mobile phones during pregnancy. Retrospective exposure assessment (DNBC and ABCD) or prospective exposure assessment (INMA and MOCEH) were used.	Exposure were classified into 4 categories (none, low, intermediate, and high) based on daily frequency of cell-phone calls during pregnancy.	Preterm/post-term birth, fetal growth (small or large size for gestational age), Modified Wald, χ^2 , and Fischer exact tests. The calculated adjusted cohort-specific estimates were meta-analysed using random-effects models.	Preterm birth - Adjusted OR (95% C.I.)	Post term birth - Adjusted OR (95% C.I.)	SGA birth - Adjusted OR (95% C.I.)	LGA birth - Adjusted OR (95% C.I.)	Maternal age at child's birth (a natural spine term with 3 degrees of freedom), parity, active and passive smoking during pregnancy, alcohol consumption during pregnancy, pre-pregnancy body mass index.	Adequate/equivocal
					0.96 (0.86-1.07)	0.98 (0.89-1.07)	0.94 (0.86-1.03)	0.98 (0.92-1.04)		
					1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)	1.00 (ref.)		
					1.12 (0.97-1.28)	0.85 (0.75-0.97)	1.03 (0.88-1.21)	0.97 (0.89-1.05)		
26. Boileau et al., 2020. France, children born in 2014-2017. Prospective, longitudinal, multicenter observational cohort study (NéHAvi cohort)	1378 mothers-child pairs (M and F). Questionnaires completed during face-to-face interviews in the post-partum period during stay at the maternity unit, and the child's and parents' medical records.	Use of mobile phones during pregnancy. Retrospective exposure assessment (DNBC and ABCD) or prospective exposure assessment (INMA and MOCEH) were used.	Phone time recorded in minutes per day.	Fetal growth, assessed using a personalized AUDIPOG score (growth restriction at birth, defined by an AUDIPOG score \leq 10th percentile at birth)	P for trend				Stress not considered as confounding	Adequate/positive
					None	Low	Intermediate	High		
					0.003	0.863	0.872	0.488		
					AUDIPOG score \leq 10th percentile - Adjusted OR (95% C.I.)	P-value				
			Phone time (min/day)							
			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					
			\geq 30	1.54 (1.03-2.31)	0.0374					

Table 18 (summary tables 12-17) - Collected data for epidemiological studies on reproductive/developmental effects (FR1: 450-6000 MHz)

Total studies		26			
Adequate studies		16			
Type of study	Observed Effect	Total* adequate studies	Positive studies	Equivocal studies	Negative studies
Reproductive- man fertility	Decline in semen quality	6	6		
	Miscarriage	2	2		
Developmental- mother-offspring effects	Preterm/post-term birth, foetal growth; chromosomal anomalies	8	2	2	4
	Language/communication/ behavioural /cognitive problems	4		2	2

*Some of the studies include more than one outcome.

ZUSAMMENFASSUNG DER GESAMMELTEN DATEN FÜR EPIDEMIOLOGISCHE STUDIEN ZU REPRODUKTIVEN/ENTWICKLUNGSWIRKUNGEN (FR1: 450 bis 6000 MHz) (Tabelle 18)

Die epidemiologischen Belege für mögliche Zusammenhänge zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und reproduktiven Entwicklungseffekten stammen aus Studien mit unterschiedlichem Design, die eine Reihe von Expositionsquellen bewertet haben: Die Populationen umfassten Personen, die am Arbeitsplatz exponiert waren, Personen, die durch Quellen in der allgemeinen Umwelt exponiert waren, z. B. Funk-Basisstationen, und Personen, die durch die Nutzung von drahtlosen (mobilen und schnurlosen) Telefonen exponiert waren.

In Kapitel 4 (Beschränkungen) des vorliegenden Dokuments werden allgemeine methodische Fragen im Zusammenhang mit der Bewertung einzelner Studien behandelt. Die Gesamtzahl der epidemiologischen Studien, die für die vorliegende Überprüfung für FR1 ausgewählt wurden, betrug 26. Nach weiteren eingehenden Analysen der 26 Originalarbeiten erwiesen sich 16 Studien auf der Grundlage der Expositionsbewertung, des Stichprobenumfangs und der Angemessenheit der Confounding-Analysen als angemessen.

In den 16 adäquaten Studien wurden die Verschlechterung der Samenqualität, das Risiko von Fehlgeburten, Früh-/Nachgeburten, das Wachstum des Fötus, Sprach-/Kommunikations-/Verhaltens-/kognitive Probleme auf einen möglichen Zusammenhang mit der Exposition gegenüber HF-EMF im Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen oder der umweltbedingten/beruflichen Exposition gegenüber Emissionen von Funkbasisstationen untersucht. Unter Bezugnahme auf die Nummern, die den Studien in den jeweiligen Zusammenfassungen und Tabellen gegeben wurden, ist die Assoziation der verschiedenen schädlichen Wirkungen mit der HF-EMF-Exposition wie folgt:

Verschlechterung der Samenqualität: Von den 6 adäquaten Studien zu diesem Ergebnis zeigten alle einen positiven Zusammenhang mit HF-EMF-Exposition (Ref: 2, 3, 5, 7, 11, 12).

Fehlgeburt: beide der 2 adäquaten Studien zu diesem Ergebnis zeigten einen positiven Zusammenhang mit HF-EMF-Exposition (Ref: 13, 14)

Früh-/Nachgeburt, fötales Wachstum: von 8 adäquaten Studien zu diesen Ergebnissen zeigten 2 eine positive Assoziation mit HF-EMF-Exposition (Ref: 15, 26), 2 eine zweideutige Assoziation /Ref: 24,25), während 4 negativ waren (Ref: 19, 20, 21, 23).

Sprach-/Kommunikations-/Verhaltens-/kognitive Probleme: Von 4 adäquaten Studien zeigten 2 einen zweideutigen Hinweis auf einen Zusammenhang mit HF-EMF-Exposition (Ref: 20, 24) und 2 waren negativ (Ref: 21, 23).

Wir können folgende Schlussfolgerungen ziehen:

FR1: 450 bis 6000 MHz:

Es gibt ausreichende Evidenz für schädliche Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit des Menschen.

Es gibt begrenzte Evidenz auf schädliche Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit von Frauen.

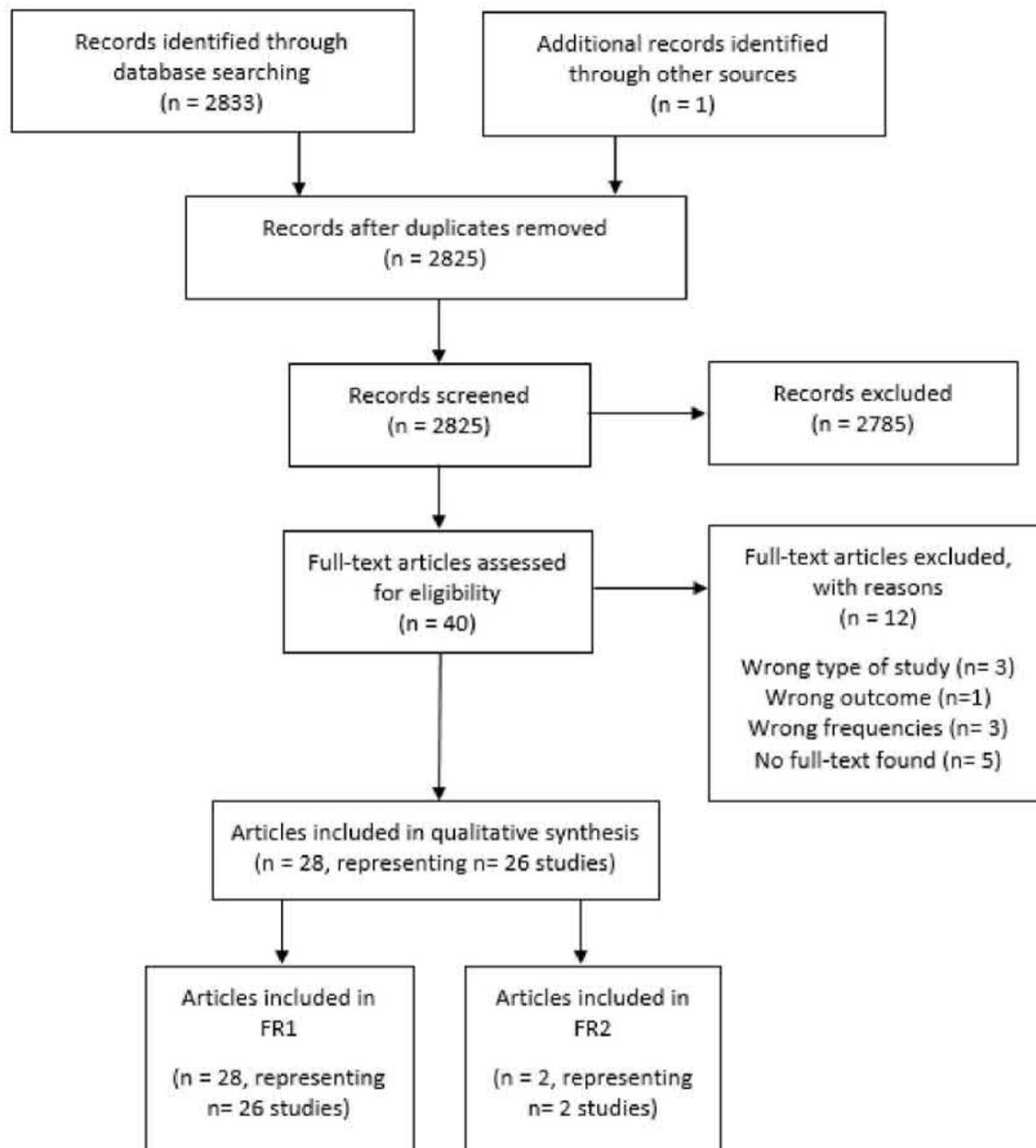
Es gibt begrenzte Evidenz auf schädliche Wirkungen bei schwangeren Frauen und ihren Nachkommen für alle untersuchten Entwicklungsendpunkte.

4.2.2 Reproduktions-/Entwicklungseffekte in epidemiologischen Studien: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW).

Durch die Suche in Datenbanken und anderen Quellen wurden 2834 Artikel ermittelt. Nach dem Entfernen von Duplikaten (9) und dem Ausschluss nicht relevanter Artikel (2785) auf der Grundlage des Titels und der Zusammenfassungen blieben 40 Artikel übrig. Auf der Grundlage eines Volltextscreenings wurden 12 weitere Artikel ausgeschlossen, so dass die veröffentlichten Artikel mit einer für die Einbeziehung in diese qualitative Synthese geeigneten Häufigkeit 28 waren, was 26 Studien entspricht. Es wurden zwei Artikel veröffentlicht, die Informationen über dieselbe Studie enthielten (Abb. 14).

In diesem Stadium wurde auch eine Auswahl auf der Grundlage des Frequenzbereichs vorgenommen: 28 Arbeiten/26 Studien bezogen sich auf Expositionen, die in den FR1-Bereich gehören, und 2 bezogen sich auch auf FR2. Diese Arbeiten berichteten über Expositionen, die sowohl für FR1 als auch für FR2 geeignet sind, so dass sie sich nicht zu der Gesamtzahl der eingeschlossenen Studien addieren; sie werden zweimal berichtet, einmal in jedem Frequenzbereich mit dem entsprechenden Ergebnis.

Figure 14 – Flow diagram. Epidemiological studies on reproductive/developmental effects FR2



MÄNNLICHE FERTILITÄT

Querschnittsstudien (Tabelle 19 a, b)

1. Baste et al., 2008.

Norwegen. 2002-2004. Fall-Kontroll-Studie, berufliche Exposition.

Die Autoren führten eine Querschnittsstudie unter Militärangehörigen durch, die bei der Königlichen Norwegischen Marine beschäftigt waren. Die Querschnittsstudie beinhaltete Informationen über die Arbeit in der Nähe von Geräten, die hochfrequente elektromagnetische Felder aussenden, einjährige Unfruchtbarkeit, Anzahl der Kinder und Geschlecht der Nachkommen. Von den 10 497 Befragten hatten 22 % in der Nähe von Hochfrequenz-Antennen in einem "hohen" oder "sehr hohen" Ausmaß gearbeitet. Die Unfruchtbarkeit stieg signifikant mit zunehmender selbstberichteter Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. In einer logistischen Regression betrug das Odds Ratio (OR) für Unfruchtbarkeit zwischen denjenigen, die weniger als 10m von Hochfrequenz-Antennen gearbeitet hatten, im Vergleich zu denjenigen, die angaben, nicht in der Nähe von Hochfrequenz-Antennen gearbeitet zu haben, 1,86 (95% Konfidenzintervall (CI): 1,46-2,37), bereinigt um Alter, Rauchgewohnheiten, Alkoholkonsum und Exposition gegenüber organischen Lösungsmitteln, Blei und Schweißarbeiten. Ähnliche bereinigte OR für diejenigen, die "stark", "etwas" und "gering" exponiert waren, betrug 1,93 (95% CI: 1,55-2,40), 1,52 (95% CI: 1,25-1,84) bzw. 1,39 (95% CI: 1,15-1,68). In allen Altersgruppen gab es signifikante lineare Trends mit einer höheren Prävalenz ungewollter Kinderlosigkeit bei höherer selbstberichteter Exposition gegenüber Hochfrequenzfeldern. Der Grad der Exposition bei Hochfrequenzstrahlung und die Anzahl der Kinder waren jedoch nicht assoziiert. Für die selbstberichtete Exposition bei Hochfrequenz-Antennen und Kommunikationsanlagen gab es signifikante lineare Trends mit einem niedrigeren Verhältnis von Jungen zu Mädchen bei der Geburt, wenn der Vater ein höheres Ausmaß an hochfrequenter elektromagnetischer Exposition berichtete.

Anmerkung: Selbstberichteter Grad der Exposition. Ein höheres Maß an HF-EMF-Exposition ist mit Unfruchtbarkeit und einem niedrigeren Verhältnis von Jungen zu Mädchen bei der Geburt verbunden.

2. Mollerleken und Moen, 2008.

Norwegen. 2002. Fall-Kontroll-Studie, berufliche Exposition.

Das Ziel dieser Studie war es, die Beziehung zwischen Arbeitern, die elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sind, und ihrer reproduktiven Gesundheit zu untersuchen. Die Daten wurden mit Hilfe eines Fragebogens in einer Querschnittsstudie von männlichen Marinesoldaten erhoben, die Rücklaufquote lag bei 63% (n=1487). Die Befragten wurden zu Exposition, Lebensstil, reproduktiver Gesundheit, Vorerkrankungen, Arbeit und Bildungsabschluss befragt. Eine Expertengruppe kategorisierte die Arbeitskategorien, die mit der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern zusammenhängen. Wir kategorisierten die Arbeitskategorien in "Tele-/Kommunikation", "Elektronik" und "Radar/Sonar" als Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern. Die logistische Regression, bereinigt um Alter, Rauchen, militärische Ausbildung und körperliche Betätigung am Arbeitsplatz, zeigte ein erhöhtes Risiko für Unfruchtbarkeit bei der Gruppe Tele-/Kommunikation (Odds Ratio $OR \leq 1,72$, 95 % Konfidenzintervall 1,04-2,85) und Radar/Sonar ($OR \leq 2,28$, 95 % Konfidenzintervall 1,27-4,09). In der Elektronikgruppe war das Risiko nicht erhöht. Diese Studie zeigt einen möglichen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenten Feldern bei der Arbeit mit Hochfrequenzgeräten und Radar und einer verminderten Fruchtbarkeit. Die Ergebnisse müssen jedoch mit Vorsicht interpretiert werden.

Anmerkung: Selbstberichtete Exposition. Möglicherweise erhöhtes Risiko für Unfruchtbarkeit bei Telekommunikations- und Radar/Sonar-Bedienern.

Table 19 - Reproductive/developmental effects in humans: man fertility, epidemiologic case-control studies (24-100 GHz)(a)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments	
1. Baste et al., 2008. Norway 2002-2004. Case-control study	9925 current and former male military employees in the Royal Norwegian Navy, defined by the military employment list (M); mean age 49.	High-frequency aeriels, communication equipment, radar. Self-assessed occupational exposure and age categories assessed by mail questionnaire.	Exposure to radiofrequency electromagnetic fields: work closer than 10 m from high-frequency aeriels, work closer than 3 m from communication equipment and work closer than 5 m from radar.	Infertility. Odds ratios and 95% CI from adjusted logistic regression models; Mantel-Haenszel test for linear trend.	Total Infertility <5 m from radar, OR (95% CI)	Infertility. Odds ratios and 95% CI from adjusted logistic regression models; Mantel-Haenszel test for linear trend.	Adequate/Positive for man infertility	
			Age <29	Not exposed	1.00 (ref.)			0.001
				Low	0.87 (0.25-2.99)			
				Some	2.13 (0.64-7.06)			
				High	1.11 (0.20-6.00)			
				Very high	5.09 (1.59-16.30)			
			Age 30-39	Not exposed	1.00 (ref.)			0.005
				Low	1.46 (0.99-2.15)			
				Some	1.32 (0.87-2.02)			
				High	1.79 (1.14-2.82)			
				Very high	1.91 (1.19-3.07)			
			Age 40-49	Not exposed	1.00 (ref.)			0.002
				Low	1.22 (0.87-1.71)			
				Some	1.24 (0.87-1.79)			
	High	1.59 (1.05-2.41)						
	Very high	1.50 (0.95-2.35)						
Age >50	Not exposed	1.00 (ref.)	0.001					
	Low	1.11 (0.84-1.46)						
	Some	1.58 (1.20-2.09)						
	High	1.39 (0.98-1.97)						
	Very high							

Table 19 - Reproductive/developmental effects in humans: man fertility, epidemiologic case-control studies (24-100 GHz)(continued b)

Study information	Population	Type of Exposure and assessment method	Exposure category or level	Health Outcome and measure	Risk estimate (95% CI)	Any Other Co-Exposure/adjustments	Comments
2. Møller-Jørgensen et al., 2008. Norway, 2002. Case-control study.	2265 (M) employees who were currently serving in the Navy, both military and civilians. Mean age of 36 years of age, range 20-62.	Occupational exposure from military communication equipment. Information on occupational history from mail questionnaire. An expert group determined work categories related to electromagnetic field exposure.	Workers in the radar/sonar, the telecommunication, electronics, other jobs (unexposed).	Infertility, Biological Children, Anomalies, Chromosomal Errors, Preterm and Stillbirths or Infant Deaths. Incidence of outcome by exposure group (%); Chi2 or Fisher Exact Tests to assess significance of differences among groups.	Children with anomalies or chromosomal errors - % (p-value from Chi2 or Fisher's Exact tests)	Age, ever smoked, military education, and physical exercise at work.	Adequate/Positive for male infertility and developmental parameters in offspring
			Other jobs (unexposed group)		Having biological children - % (p-value from Chi2 tests)		
			Radar/sonar workers (radar)		3.5		
					62.0		
					8.6		
					17.5 (<0.01)		
					7.1 (0.11)		
					7.9		
					2.3		
					9.1 (0.37)		
					2.0 (0.61)		

Table 20 (summary tables 19 a,b) – Collected data for epidemiological studies on reproductive/developmental effects (FR2: 24-100 GHz).

Total studies*		2			
Adequate studies		2			
Type of study	Observed Effect	Total adequate studies	Positive results	Negative results	Equivocal results
Reproduction- man fertility	Decline in sperm quality	2	2		
Developmental parameters	Children: preterm birth; chromosomal anomalies	1	1		

Die epidemiologischen Belege für mögliche Zusammenhänge zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung stammen aus Studien mit unterschiedlichem Design, die eine Reihe von Expositionsquellen untersucht haben. Die untersuchten Populationen für FR2 umfassen Personen, die beruflich exponiert sind, insbesondere Militärangehörige.

In Kapitel 4 (Einschränkungen) des vorliegenden Dokuments werden allgemeine methodische Bedenken im Zusammenhang mit der Bewertung einzelner Studien behandelt. Die Gesamtzahl der epidemiologischen Studien bis 2020, die für die vorliegende Überprüfung für FR2 ausgewählt wurden, betrug zwei, die beide als angemessen angesehen werden.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERHOBENEN DATEN FÜR EPIDEMIOLOGISCHE STUDIEN ÜBER REPRODUKTIVE-/ENTWICKLUNGSWIRKUNGEN (FR2: 24-100 GHz) (Tabelle 20)

FR2 (24-100 GHz)

Die beiden analysierten Studien zu FR2 haben Grenzen bei der Expositionsabschätzung, so dass die tatsächlichen HF/EMF-Expositionswerte unklar sind. Beide Studien zeigen jedoch ausreichende Hinweise auf schädliche Auswirkungen auf die männliche Fruchtbarkeit (Ref: 1, 2).

Begrenzte Hinweise auf Entwicklungseffekte bei Nachkommen von exponierten Militärangehörigen werden in einer der Studien gezeigt (Ref: 2).

Aufgrund der geringen Anzahl verfügbarer adäquater Studien und der Ungewissheit über die Expositionsbewertung erlauben diese Ergebnisse jedoch nicht, einen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber FR2 und reproduktiven Entwicklungsergebnissen zu bestätigen oder zu widerlegen (*nicht klassifizierbar*).

4.2.3 Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung bei Versuchstieren: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem niedrigeren Frequenzbereich (FR1: 450 bis 6000 MHz), der auch die in den Mobilfunk-Breitbandnetzen der vorherigen Generationen (1G, 2G, 3G und 4G) verwendeten Frequenzen umfasst.

Bei der Suche in der Datenbank und anderen Quellen wurden 5052 Artikel gefunden. Nach dem Entfernen von Duplikaten (77) und dem Ausschluss nicht relevanter Artikel (4886) auf der Grundlage des Titels und der Zusammenfassungen blieben 89 Artikel übrig. Auf der Grundlage eines Volltextscreenings wurden 43 weitere Artikel ausgeschlossen, so dass die veröffentlichten Artikel mit angemessener Häufigkeit für die Einbeziehung in diese qualitative Synthese 46 ergaben, was 39 Studien entspricht. In drei Fällen wurde mehr als ein Artikel veröffentlicht, die Informationen über dieselbe Studie für verschiedene Endpunkte der Fortpflanzung/Entwicklung enthielt (Abb. 15).

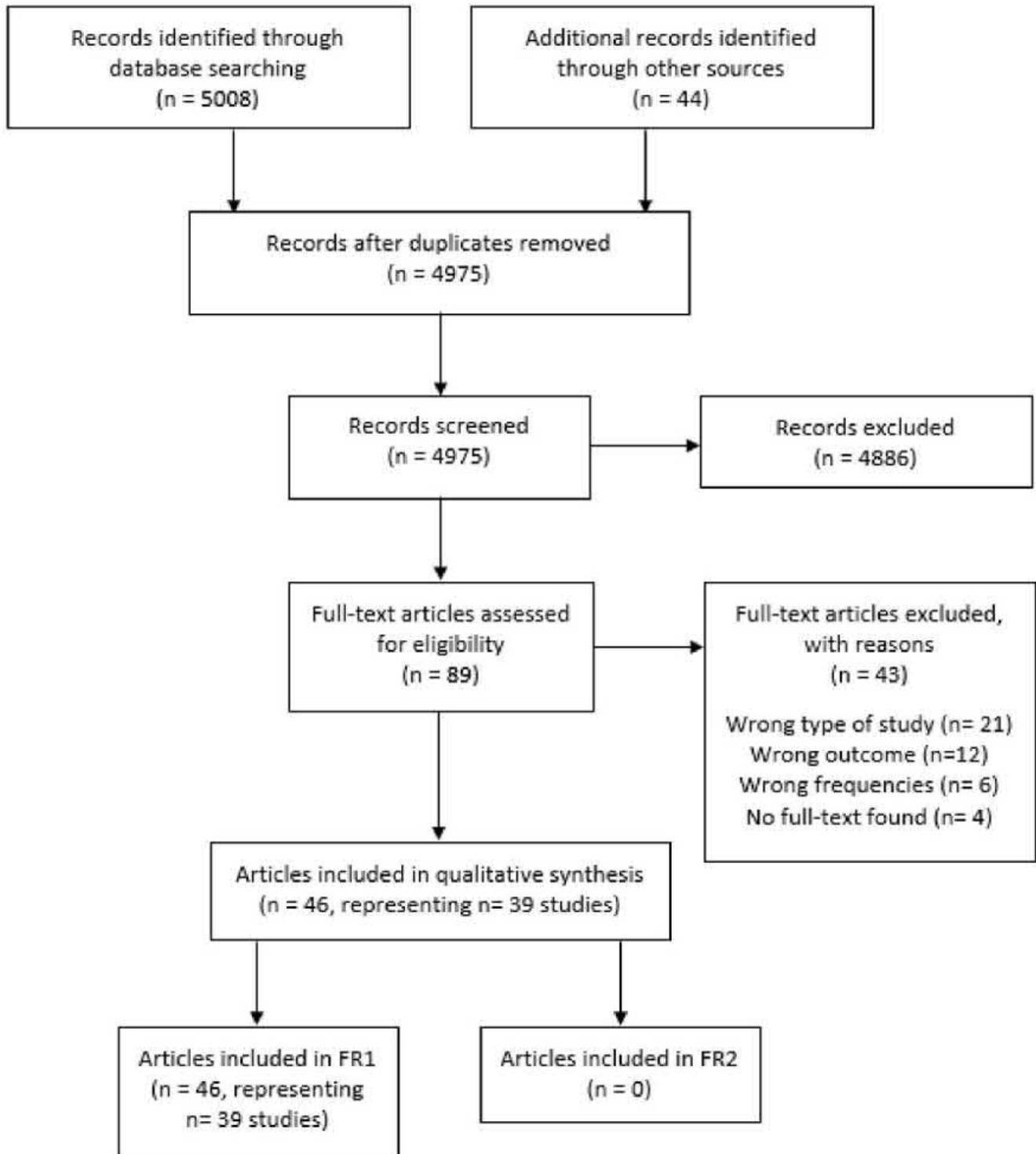
In diesem Stadium wurde auch eine Auswahl auf der Grundlage des Frequenzbereichs vorgenommen: Von den 46 Artikeln bzw. 39 Studien berichteten alle über Expositionen im FR1-Bereich und keine im FR2-Bereich.

Eine weitere Auswahl basierte auf den Leitlinien 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 von experimentellen Bioassays an Tieren (Nagetieren) anerkannt sind und darauf abzielen, Auswirkungen auf Entwicklungspathologie, endokrine Disruptoren, weibliche und männliche Fortpflanzung sowie Auswirkungen auf das Fortpflanzungssystem zu ermitteln.

Das Studiendesign des Leitfadens sieht mindestens 10 Tiere/Geschlecht/Gruppe vor, um statistisch belastbare Ergebnisse zu erhalten. Entsprechend dieser Annahme wurden die Arbeiten nach Art der Studie aufgeteilt, d. h. männliche Reproduktion, weibliche Reproduktion, Entwicklungspathologie.

Für jede Studie wird eine Zusammenfassung zusammen mit Tabellen angegeben, in denen die wichtigsten Informationen zusammengefasst sind. Ein hochrangiger Experte bewertete die Eignung der Studien für die Bewertung der Auswirkungen auf die Fortpflanzung und Entwicklung (angemessen/unangemessen) und gab eine Gesamtsynthese der Ergebnisse (positiv/negativ/nicht eindeutig) ab, wobei er sich an den im Abschnitt über die Methodik beschriebenen Kriterien orientierte.

Figure 15 – Flow diagram. Reproductive/developmental effects in experimental animals FR1



REPRODUKTIONSTOXIZITÄT

Männliche Mäuse (Tabellen 21, a, b)

1. Mugunthan et al., 2012.

Indien. Mäuse. Reproduktionstoxizität.

Mäuse (n=18) wurden bei 2G ultrahochfrequenter Strahlung, 48 Minuten pro Tag für einen Zeitraum von 30 bis 180 Tagen exponiert. Die Menge des exponierten elektromagnetischen Feldes (EMF) wurde mit dem Strahlungsfrequenz-Messgerät berechnet. Achtzehn Mäuse wurden bei der 900-1900 MHz-Frequenz des 2G-Mobiltelefons exponiert und achtzehn Mäuse dienten als Scheinkontrolle. Die Scheinkontrollmäuse (n=18) wurden unter ähnlichen Bedingungen ohne 2G-Exposition exponiert. 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 Gruppe nach 24 Stunden der letzten Exposition geopfert. Die gleiche Anzahl an Kontrolltieren wurde in der gleichen Zeitspanne geopfert. Wir entnahmen Blutproben, um das Plasmatestosteron zu messen. Wir maßen und analysierten die Größe, das Gewicht und das Volumen der Hoden. Die Hoden wurden unter dem Lichtmikroskop auf strukturelle Veränderungen untersucht. Ergebnisse: In der 2G-exponierten Gruppe war das Gewicht der Tiere im ersten, zweiten und vierten Monat niedriger (p-Wert $\leq 0,05$). Das mittlere Hoden-Gewicht der 2G-exponierten Mäuse war in allen Monaten außer im vierten Monat signifikant reduziert (p-Wert $< 0,05$) und das mittlere Hoden-Volumen war in den ersten drei Monaten signifikant reduziert (p-Wert 0,02). Die mittlere Dichte der Hodenkanälchen pro Flächeneinheit war in den 2G-exponierten Hoden signifikant niedriger (p-Wert $< 0,001$). Der mittlere Durchmesser der Hodenkanälchen war in den 2G-exponierten Hoden signifikant reduziert (p-Wert ist hoch signifikant $< 0,001$), außer im zweiten Monat. Die mittlere Anzahl der Sertoli- und Leydig-Zellen war bei den 2G-exponierten Mäusen signifikant reduziert (p-Wert ist hoch signifikant $< 0,001$). Im Vergleich zur 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 2G-Mobilfunkstrahlung-exponierten Mäusen gefunden. 1. Das Interstitium erschien weit 2. Sertoli-Zellen und Spermatogonien waren von der Basallamina abgelöst. 3. Vakuolare Degeneration und Abschuppung des Hodenepithels. Die meisten peripheren Tubuli zeigten einen Reifungsstopp in der Spermatogenese. Die Hodenkanälchen wurden mit Hilfe des Johnson Testicular Biopsy Score zwischen 8 und 9 bewertet. Die chronische Exposition gegenüber ultrahochfrequenter Strahlung, die von einem 2G-Mobiltelefon ausgeht, könnte mikroskopische Veränderungen in den Hodenkanälchen, eine Verringerung der Anzahl der Sertoli- und Leydig-Zellen und einen verringerten Serumtestosteronspiegel verursachen. Langfristiger Gebrauch von Mobiltelefonen könnte zu männlicher Unfruchtbarkeit führen.

Kommentar: Angemessen/positiv.

2. Shahin et al., 2014.

Indien. Schweizer Mäuse (M). Reproduktionstoxizität.

Zwölf Wochen alte Mäuse wurden einer nicht-thermischen schwachen 2,45-GHz-MW-Strahlung ausgesetzt (kontinuierliche Welle (CW) für 2/Tag für 30 Tage, Leistungsdichte = 0,029812 mW/cm² und SAR = 0,018 W/Kg). Die Spermienzahl und die Lebensfähigkeit der Spermien wurden getestet, und die lebenswichtigen Organe wurden zur Untersuchung verschiedener Stressparameter untersucht. Plasma wurde zur Bestimmung von Testosteron und Hoden für den 3b HSD-Test verwendet. Die Immunhistochemie von 3b HSD und Stickstoffmonoxid-Synthase (i-NOS) wurde ebenfalls in den Hoden durchgeführt. Wir stellten fest, dass die MW-Bestrahlung eine signifikante Abnahme der Spermienzahl und der Lebensfähigkeit der Spermien zusammen mit einer Abnahme des Durchmessers der Hodenkanälchen und einer Degeneration der Hodenkanälchen verursachte. Eine Verringerung der Hoden-3b-HSD-Aktivität und der Plasma-Testosteron-Gehalte wurde ebenfalls in der exponierten Gruppe der Mäuse festgestellt. Eine erhöhte Expression von i-NOS im Hoden wurde in der MW-bestrahlten Mäuse-Gruppe beobachtet. Außerdem deuten diese negativen Auswirkungen auf die Fortpflanzung darauf hin, dass eine chronische Exposition bei nicht-ionisierender MW-Strahlung über einen durch freie Radikale vermittelten Weg zu Unfruchtbarkeit führen kann.

Kommentar: Angemessen/positiv.

3. Zhu et al., 2015.

USA. ICR-Mäuse (M, SPF). Reproduktionstoxizität.

Erwachsene männliche ICR-Mäuse wurden bei kontinuierlichen 900 MHz-Hochfrequenzfeldern (HF) exponiert. Nach einer 7-tägigen Quarantänezeit wurden die Tiere gewogen (20 ± 2 g) und nach dem Zufallsprinzip in drei separate Gruppen von jeweils 10 Mäusen für verschiedene Expositionen eingeteilt. a. Kontinuierliche 900 MHz-HF-Bestrahlung mit einer Leistungsintensität von $1,6 \text{ mW/cm}^2$, 4 h/Tag für 15 Tage. b. Scheinexposition ohne HF-Übertragung (Kontrollmäuse). c. Eine akute Dosis von 2 Gy γ -Strahlung (GR, Positivkontrollen). Am Ende der Exposition wurde jede Maus mit 3 reifen, jungfräulichen weiblichen Mäusen zur Paarung in einen Käfig gesetzt. Nach 7 Tagen wurde jedes Mäusemännchen in einen neuen Käfig gebracht und mit einer zweiten Gruppe von 3 Weibchen verpaart. Dieser Vorgang wurde für insgesamt 4 aufeinanderfolgende Wochen wiederholt. Scheinexponierte männliche Mäuse und solche, die einer akuten 2-Gy-Bestrahlung (GR) ausgesetzt waren, wurden ebenso behandelt und als nicht exponierte bzw. positive Kontrollen verwendet. Alle Weibchen wurden am 18. Tag der Trächtigkeit und der mutmaßlichen Paarung geopfert und der Inhalt ihrer Gebärmutter untersucht. Die Gesamtbeobachtungen während der vierwöchigen Paarung zeigten, dass die nicht-exponierten weiblichen Mäuse, die mit HF-exponierten männlichen Mäusen gepaart wurden, keine signifikanten Unterschiede im Prozentsatz der Trächtigkeit, der Gesamtanzahl der Implantate, der lebenden Implantate und der toten Implantate zeigten, verglichen mit denen, die mit schein-exponierten 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 und allen 4 Wochen der Paarung. Somit deuten die Daten darauf hin, dass es kein mutagenes Potenzial der HF-Exposition in den Keimzellen der männlichen Mäuse gibt.

Kommentar: Angemessen/negativ.

4. Pandey et al. (2017).

Indien. Schweizer Mäuse (M). Reproduktionstoxizität.

Schweizer Albino-Mäuse wurden 35 Tage lang 4 h und 8 h pro Tag bei HFR (900 MHz) exponiert. Eine Gruppe von Tieren wurde nach der Expositionszeit getötet, während die anderen für weitere 35 Tage nach der Exposition gehalten wurden. Die HFR-Exposition verursachte eine Depolarisation der mitochondrialen Membranen, was zu einer Destabilisierung der zellulären Redox-Homöostase führte. Bei den HFR-exponierten Tieren wurden statistisch signifikante Erhöhungen des Schadensindex 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 signifikante Abnahme der Spermatozoen. Es wurde eine fast vierfache Verringerung des Umsatzes von Spermatogonien zu Spermatozoen (1C:2C) und eine dreifache Verringerung des Umsatzes von primären Spermatozyten zu Spermatozoen (1C:4C) festgestellt, was auf einen Stillstand im prämeiotischen Stadium der Spermatogenese hindeutet, was zu einem Verlust von postmeiotischen Keimzellen führte, die in der Histologie des Hodens und in der niedrigen Spermienzahl der HFR-exponierten Tiere sichtbar sind. Histologische Veränderungen wie die Ablösung unreifer Keimzellen in das Lumen der Hodenkanälchen, die Verarmung des Epithels und ein Reifungsstopp wurden ebenfalls beobachtet. All diese Veränderungen erholten sich jedoch in unterschiedlichem Ausmaß nach dem Zeitraum nach der Exposition, was darauf hindeutet, dass die schädlichen Auswirkungen von HFR auf die Keimzellen der Mäuse zwar schädlich, aber reversibel sind. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass HFR-Exposition-induzierter oxidativer Stress DNA-Schäden in Keimzellen verursacht, die die Zellzyklus-Progression verändern, was zu einer niedrigen Spermienzahl bei Mäusen führt.

Kommentar: Angemessen/positiv.

5. Pandey et al. (2018).

Indien. Schweizer Mäuse (M). Reproduktionstoxizität.

Die vorliegende Studie untersuchte die Wirkung von RFR Global System for Mobile communication (GSM) Typ, 900 MHz und Melatonin-Supplementierung auf die Keimzellenentwicklung während der Spermatogenese. Schweizer Albino-Mäuse wurden in vier Gruppen aufgeteilt. Eine Gruppe erhielt eine RFR-Exposition für 3 Stunden zweimal/Tag für 35 Tage und die andere Gruppe erhielt die gleiche Exposition, aber mit Melatonin (N-Acetyl-5-Methoxytryptamin) (MEL; 5 mg/kg KG/Tag). Zwei andere Gruppen erhielten nur MEL oder wurden nicht exponiert. Spermienkopfanomalien, die Gesamtzahl der Spermien, biochemische Untersuchungen auf Lipidperoxide, reduziertes Glutathion, Superoxiddismutase-Aktivität und die Histologie der Hoden wurden ausgewertet. Darüber hinaus wurden eine durchflusszytometrische Bewertung der Keimzellsubtypen und ein Comet-Test in den Hoden durchgeführt. Umfassende DNA-Schäden in den Keimzellen der RFR-exponierten Tiere zusammen mit einem Stillstand in den prämeiotischen Stadien der Spermatogenese führten schließlich zu einer niedrigen Spermienzahl und

Spermienkopfanomalien wurden beobachtet. Darüber hinaus zeigten biochemische Tests eine übermäßige Bildung freier Radikale, die zu histologischen und morphologischen Veränderungen der Hoden bzw. der Keimzellenmorphologie führten. Diese Wirkungen waren jedoch bei den mit Melatonin ergänzten, RFR-exponierten Tieren entweder abgeschwächt oder nicht vorhanden. Daraus kann gefolgert werden, dass Melatonin den prämeiotischen Spermatogenese-Stillstand in männlichen Keimzellen durch sein antioxidatives Potenzial und seine Fähigkeit, die DNA-Reparaturwege zu verbessern, hemmt, was zu einer normalen Spermienzahl und Spermienmorphologie bei RFR-exponierten Tieren führt.

Kommentar: Angemessen/positiv (Gruppe, die ohne Melatoninzusatz behandelt wurde).

6. Shahin et al. (2018).

Indien. Schweizer Mäuse. Reproduktionstoxizität.

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, den zugrundeliegenden detaillierten Weg der Hoden-Apoptose zu untersuchen, die durch die Belastung mit freien Radikalen und das Redox-Ungleichgewicht aufgrund der 2,45 GHz MW-Strahlungs-Exposition induziert wird, sowie den Schweregrad mit der zunehmenden Expositionsdauer. Zwölf Wochen alte männliche Mäuse wurden bei 2,45 GHz MW-Strahlung [kontinuierliche Welle (CW) mit einer durchschnittlichen Gesamtleistungsdichte von 0,0248 mW/cm² 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, 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 2,45 GHz MW-Strahlungs-Exposition, die ein Hoden-Redox-Ungleichgewicht induziert, nicht nur zu einer verstärkten Hoden-Apoptose über den p53-abhängigen Bax-Caspase-3-vermittelten Weg führt, sondern auch den Grad der apoptotischen Schwere in einer von der Dauer abhängigen Weise erhöht.

Kommentar: Angemessen/positiv.

Weibliche Mäuse (Tabelle 22, a)

7. Gul et al., 2009.

Türkei. Ratten (F). Reproduktionstoxizität.

Das Ziel dieser Studie war es, zu untersuchen, ob es irgendwelche toxischen Auswirkungen von Mikrowellen von Mobiltelefonen auf die Eierstöcke von Ratten gibt. In dieser Studie wurden 82 weibliche Rattenbabies im Alter von 21 Tagen (43 in der Studiengruppe und 39 in der Kontrollgruppe) verwendet. Die trächtigen Ratten in der Studiengruppe wurden während der gesamten Trächtigkeit Mobiltelefonen ausgesetzt, die unter den Polypropylenkäfigen platziert waren. Der Käfig war frei von allen Arten von Materialien, die elektromagnetische Felder beeinflussen könnten. Ein Mobiltelefon, das sich 11 Stunden und 45 Minuten lang in einer Standby-Position befand, wurde alle 12 Stunden für 15 Minuten in die Sprechposition geschaltet und der Akku wurde kontinuierlich geladen. Am 21. Tag nach der Geburt wurden die weiblichen Rattenbabies getötet und die rechten Eierstöcke entfernt. Das Volumen der Eierstöcke wurde gemessen und die Anzahl der Follikel in jedem zehnten Abschnitt gezählt. Die Analyse ergab, dass die Anzahl der Follikel in der Studiengruppe geringer war als in der Kontrollgruppe. Die verringerte Anzahl der Follikel bei den Rattenbabies, die den Mikrowellen des Mobiltelefons ausgesetzt waren, deutet darauf hin, dass die intrauterine Exposition toxische Wirkungen auf die Eierstöcke hat. Wir vermuten, dass die Mikrowellen von Mobiltelefonen die Anzahl der Follikel bei Ratten durch mehrere bekannte, und zweifellos unzählige unbekannte Mechanismen verringern könnten.

Kommentar: Angemessen/zweideutig.

8. Shahin et al. (2017).

Indien. Schweizer Mäuse (F). Reproduktionstoxizität.

Die vorliegende Studie untersuchte die langfristigen Auswirkungen von Mobilfunkstrahlung (1800 MHz) im Standby-, Wahl- und Empfangsmodus auf die weibliche Fortpflanzungsfunktion (Histoarchitektur der Eierstöcke und der Gebärmutter, Steroidogenese) und Stressreaktionen (oxidativer und nitrosativer Stress). Wir beobachteten, dass Mobilfunkstrahlung eine signifikante Erhöhung von ROS, NO, Lipidperoxidation, Gesamtcarbonyl-Gehalt und Serum-Corticosteron in Verbindung mit einer signifikanten Abnahme der antioxidativen Enzyme im Hypothalamus, Ovar und Uterus von Mäusen hervorruft. Im Vergleich zur Kontrollgruppe wiesen die exponierten Mäuse eine verringerte

Anzahl von sich entwickelnden und reifen Follikeln sowie dem Gelbkörper (Corpus lutea). Signifikant verringerte Serum-Gehalte von hypophysären Gonadotropinen (LH, FSH), Sexualsteroiden (E2 und P4) und die Expression von SF-1, StAR, P-450_{sc}, 3 β -HSD, 17 β -HSD, CytochromP-450-Aromatase, ER- α und ER- β wurden in allen exponierten Gruppen von Mäusen im Vergleich zur Kontrolle beobachtet. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Mobilfunk-Strahlung oxidativen und nitrosativen Stress induziert, der die Fortpflanzungs-Leistung weiblicher Mäuse beeinträchtigt.

Kommentar: Angemessen/positiv.

Männliche Ratten (Tabellen 23, a-c)

9. Özgüner et al., 2005.

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

Das Ziel dieser experimentellen Studie war es, die biologischen und morphologischen Wirkungen von 900 MHz Hochfrequenz (HF) EMF auf Ratten-Hoden 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: Gruppe I (Kontrollgruppe) wurde nicht bei EMF exponiert und Gruppe II (EMF-Gruppe) wurde 30 Minuten pro Tag, 5 Tage pro Woche für 4 Wochen bei 900 MHz EMF exponiert. Das Hoden-Gewebe wurde zur histologischen und morphologischen Untersuchung vorgelegt. Die Anzahl der Hodenbiopsie-Ergebnisse und der prozentuale Anteil des interstitiellen Gewebes am gesamten Hodengewebe wurden registriert. Der Serumtestosteronspiegel, das luteinisierende Hormon (LH) und das follikelstimulierende Hormon (FSH) wurden biochemisch bestimmt. Ergebnisse: Das Gewicht der Hoden, die die Hodenbiopsie-Ergebnisse und der prozentuale Anteil des interstitiellen Gewebes am gesamten Hodengewebe waren in der EMF-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe nicht signifikant unterschiedlich. Allerdings waren der Durchmesser der Hodenkanälchen und die mittlere Höhe des Keimepithels in der EMF-Gruppe signifikant verringert ($p < 0,05$). In der EMF-Gruppe wurde ein signifikanter Rückgang des Gesamttestosteronspiegels im Serum festgestellt ($p < 0,05$). Die LH- und FSH-Plasmakonzentrationen in der EMF-Gruppe nahmen im Vergleich zur Kontrollgruppe nur geringfügig ab ($p > 0,05$). Die biologischen und morphologischen Wirkungen, die sich aus der 900 MHz HF-EMF-Exposition ergeben, stützen nicht die Vermutung einer schädlichen Wirkung auf die Spermatogenese und das Keimepithel. Daher könnten die morphologischen Veränderungen der Hoden möglicherweise auf hormonelle Veränderungen zurückzuführen sein.

Kommentar: Angemessen/positiv.

10. Lee et al., 2010.

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

Wir untersuchten die histologischen Veränderungen durch Hochfrequenz (HF)-Felder an Rattenhodent, insbesondere im Hinblick auf sensible Prozesse wie die Spermatogenese. Männliche Ratten (20 x Gruppe) wurden 12 Wochen lang bei 848,5 MHz HF exponiert. Der HF-Expositionsplan bestand aus zwei 45-minütigen HF-Expositions-Perioden, die durch ein 15-minütiges Intervall getrennt waren. Die durchschnittliche spezifische Ganzkörper-Absorptionsrate (SAR) von HF betrug 2,0 W/kg. Anschließend untersuchten wir Korrelate der Hodenfunktion, wie z.B. die Anzahl der Spermien in den Nebenhoden, die Malondialdehyd-Konzentration in den Hoden und Nebenhoden, die Häufigkeit der Spermatogenesestadien, die Anzahl der Keimzellen und das Auftreten von apoptotischen Zellen in den Hoden. Wir führten auch Immunoblotting von p53, bcl-2, Caspase 3, p21 und PARP in den Hoden von schein- und HF-exponierten Tieren durch. Basierend auf diesen Ergebnissen kamen wir zu dem Schluss, dass eine subchronische Exposition bei 848,5 MHz mit 2,0 W/kg SAR HF keine beobachtbaren schädlichen Wirkungen auf die Spermatogenese von Ratten hat.

Kommentar: Angemessen/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 zur Unfruchtbarkeit bei Männern führen kann. Die vorliegende Studie wurde durchgeführt, um die Auswirkungen eines elektromagnetischen Feldes von 1,95 GHz auf die Hodenfunktion bei männlichen Sprague-Dawley-Ratten zu untersuchen.

Fünf Wochen alte Tiere wurden in 3 Gruppen zu je 24 Ratten aufgeteilt und ein 1,95-GHz- wide-band code division multiple access (W-CDMA), das für den freien mobilen Multimedia-Zugang (FOMA) verwendet wird, wurde für die Ganzkörperexposition für 5 Stunden pro Tag, 7 Tage pro Woche für 5 Wochen verwendet (der Zeitraum vom Alter von 5 bis 10 Wochen, der der Fortpflanzungsreife bei der Ratte entspricht). Die durchschnittlichen spezifischen Ganzkörper-Absorptionsraten (SAR) für die einzelnen Tiere wurden auf 0,4 bzw. 0,08 W/kg festgelegt. Die Kontrollgruppe erhielt eine Scheinexposition. Es gab keine Unterschiede in der Körpergewichts-Zunahme oder den Gewichten von Hoden, Nebenhoden, Samenblasen und Prostata zwischen den Gruppen. Die Anzahl der Spermien in den Hoden und Nebenhoden war in der (EMF)-exponierten Gruppen nicht vermindert, und tatsächlich war die Spermien-Zahl in den Hoden bei 0,4 SAR signifikant erhöht. Abnormalitäten der Spermien-Motilität oder -Morphologie und des histologischen Aussehens der Hoden-Tubuli, einschließlich des Stadiums des spermatogenen Zyklus, wurden nicht beobachtet. Somit war unter den vorliegenden Expositionsbedingungen keine Hodentoxizität erkennbar.

Kommentar: Angemessen/negativ.

12. Meo et al., 2011.

Saudi-Arabien. Wistar-Ratten. Reproduktionstoxizität.

Vierzig männliche Wistar-Albino-Ratten wurden in drei Gruppen aufgeteilt. Die erste Gruppe mit acht Tieren 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 der Handystrahlung ausgesetzt. Morphologische Veränderungen in den Hoden, die durch die Mobiltelefon-Befeldung hervorgerufen wurden, wurden unter dem Lichtmikroskop beobachtet. Die Exposition bei Handy-Strahlung für 60 Minuten/Tag verursachte eine Hypospermatogenese von 18,75% und einen Reifungsstopp von 18,75% in den Hoden der Albino-Ratten im Vergleich zu den entsprechenden Kontrollen. Bei Albino-Ratten, die über einen Zeitraum von insgesamt 3 Monaten 30 Minuten/Tag Mobilfunkstrahlung ausgesetzt waren, wurden jedoch keine abnormalen Befunde beobachtet. Eine Langzeit-Exposition bei Mobiltelefon-Befeldung kann eine Hypospermatogenese und einen Reifungsstillstand bei den Spermatozoen im Hoden von Wistar-Albino-Ratten verursachen.

Kommentar: Ausreichend (kleinere Anzahl von Tieren als Kontrollen)/mehrdeutig.

13. Al-Damegh, 2012.

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

Das Ziel dieser Studie war es, die möglichen Wirkungen elektromagnetischer Strahlung durch konventionelle Mobiltelefon-Nutzung auf den Oxidationsmittel- und Antioxidationsmittel-Status im 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 Wistar-Albino-Ratten, verteilt auf mindestens 10 Gruppen. Die Behandlungsgruppen wurden bei 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 bei der gleichen elektromagnetischen Frequenz für 15, 30 und 60 Minuten täglich für zwei Wochen exponiert. Es gab eine signifikante Zunahme des Durchmessers der Samenleiter-Tubuli mit einer desorganisierten Unterbrechung des Spermien-Zyklus in der elektromagnetisch exponierten Gruppe. Die Aktivitäten der konjugierten Diene, des Lipidhydroperoxids und der Katalase im Serum und im Hodengewebe stiegen um das Dreifache an, während der Gesamtgehalt an Glutathion und Glutathionperoxidase im Serum und im Hodengewebe der elektromagnetisch exponierten Tiere um das Drei- bis Vierfache abnahm. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die nachteilige Wirkung der erzeugten elektromagnetischen Frequenz einen negativen Einfluss auf die Hoden-Architektur und die enzymatische Aktivität hatte. Dieses Ergebnis deutet 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.

Kommentar: Angemessen/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 war, eingeteilt. Zwei Mobiltelefone mit einer spezifischen Absorptionsrate von 1,58 wurden in Käfigen mit 15 Ratten der Kontrollgruppe platziert und ausgeschaltet, und vier Handys wurden in

Käfigen mit 30 Ratten der Versuchsgruppe platziert und eingeschaltet gelassen. Nach 3 Monaten wurden das Gewicht, der Durchmesser der Hodenkanälchen und der Zustand der spermatogenen Zellen aller Hoden der Ratten untersucht. Eine Hälfte jedes Hodens wurde auch unter einem Elektronenmikroskop untersucht. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Hodengewichten, den Durchmessern der Hodenkanälchen und den histopathologischen Auswertungen zwischen Ratten mit und ohne EMF-Exposition festgestellt. Die elektronenmikroskopische Analyse ergab, dass die Dicke der Membrana propria und der Gehalt an Kollagenfasern in der Versuchsgruppe erhöht und die Kapillarvenen erweitert waren. Eine allgemeine Vakuolisierung im Zytoplasma der Sertoli-Zellen, das Wachstum elektronendichter Strukturen und das Vorhandensein großer Lipidtröpfchen wurden als bemerkenswerte Ergebnisse dieser Studie festgestellt. Obwohl die Zellen, die einer langfristigen, niedrig dosierten EMF-Exposition ausgesetzt waren, keine Befunde aufwiesen, die im Gegensatz zu den Kontrollbedingungen standen, erweckten die bei der ultrastrukturellen Untersuchung beobachteten Veränderungen den Eindruck, dass bei einer Verlängerung des Untersuchungszeitraums bedeutende Veränderungen auftreten könnten. Längere Studien sind notwendig, um die Auswirkungen von EMF auf das Hodengewebe besser zu verstehen.

Kommentar: Angemessen/negativ.

15. Lee et al., 2012.

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

Es wurden die Wirkungen einer kombinierten Exposition bei hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) auf die Hoden-Funktion von Ratten untersucht, insbesondere im Hinblick auf sensible Prozesse wie die Spermatogenese. Männliche Ratten (20 x Gruppe) wurden 12 Wochen lang bei Single Code Division Multiple Access (CDMA) und Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) HF-Signalen exponiert. Das HF-Expositionsprogramm umfasste 45 Minuten/Tag, 5 Tage/Woche für insgesamt 12 Wochen. Die durchschnittliche spezifische Ganzkörper-Absorptionsrate (SAR) von CDMA und WCDMA betrug jeweils 2,0 W/kg oder insgesamt 4,0 W/kg. Die Korrelate der Hodenfunktion wie die Spermienzahl im Nebenhoden, die Testosteronkonzentration im Blutserum, die Malondialdehydkonzentration in den Hoden und Nebenhoden, die Häufigkeit der Spermatogenesestadien und das Auftreten apoptotischer Zellen in den Hoden wurden untersucht. Es wurden Immunoblots für p53, bcl2, GADD45, Cyclin G und HSP70 in den Hoden von schein- und kombinierten HF-exponierten Tieren durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen kamen wir zu dem Schluss, dass die gleichzeitige Exposition mit CDMA- und WCDMA-HF-EMF bei 4,0 W/kg SAR keine beobachtbaren nachteiligen Auswirkungen auf die Spermatogenese von Ratten hat.

Kommentar: Angemessen/negativ.

16. Ozlem-Nisbet et al., 2012.

Türkei. Wistar-Ratten (M). Reproduktionstoxizität.

Männliche Albino-Wistar-Ratten (2 Tage alt) wurden einer Exposition auf die Reproduktion bei heranwachsenden männlichen Ratten ausgesetzt. Männliche Albino-Wistar-Ratten (2 Tage alt) wurden bei EMF 1800 und 900 MHz für 2 Stunden kontinuierlich pro Tag für 90 Tage exponiert. Die Scheinkontrolle wurde unter ähnlichen Bedingungen gehalten, mit dem Unterschied, dass das EMF während des gleichen Zeitraums nicht angewendet wurde. Nach der Entnahme von Blutproben wurden die Tiere 24 Stunden nach der letzten Exposition geopfert und die zu untersuchenden Gewebe entnommen. Das mittlere Plasma-Gesamt-Testosteron war in beiden Studiengruppen ähnlich und signifikant höher als bei den Scheinkontroll-Ratten. Der Prozentsatz der epididymalen Spermien-Motilität war signifikant höher in der 1800 MHz-Gruppe ($P < 0,05$). Die Rate der morphologisch normalen Spermien war in der 900 MHz-Gruppe höher und die Schwanzanomalien und der Gesamtprozentsatz der Anomalien waren niedriger ($P < 0,05$). Die histopathologischen Parameter waren in der 1800-MHz-Gruppe signifikant höher ($P < 0,05$). Zusammenfassend deutet die vorliegende Studie darauf hin, dass die Exposition bei elektromagnetischen Wellen einen Anstieg des Testosteron-Gehalts, der epididymalen Spermien-Motilität (vorwärts) und der normalen Spermien-Morphologie bei Ratten verursacht. Als Konsequenz könnten 1800 und 900 MHz EMF als Ursache für eine frühe Pubertät bei heranwachsenden Ratten angesehen werden.

Kommentar: Angemessen/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 Rattenhoden vor EMR-induzierten Beeinträchtigungen zu untersuchen, und zwar anhand der Bewertung von Spermienzahl, Lebensfähigkeit, Motilität, Morphologie der Spermienzellen, Antioxidantien (SOD und CAT), Markern für oxidativen Stress, Histopathologie des Hodengewebes und PCNA-Immunhistochemie. Die Probe bestand aus sechzig männlichen Wistar-Ratten, die in vier gleiche Gruppen aufgeteilt wurden. Die erste Gruppe (die Kontrolle) erhielt nur eine Standarddiät, während die zweite Gruppe täglich und acht Wochen lang mit 200 mg/kg wässrigem Extrakt aus Moringablättern versorgt wurde. Die dritte Gruppe wurde eine Stunde pro Tag und (7) Tage pro Woche 900-MHz-Feldern ausgesetzt. Die vierte Gruppe wurde der Strahlung eines Mobiltelefons ausgesetzt und erhielt den Moringa-Extrakt. Die Ergebnisse zeigten, dass die EMR-behandelte Gruppe eine signifikante Abnahme der Spermienparameter aufwies. Darüber hinaus verbesserte die gleichzeitige Exposition mit EMR und die Behandlung mit MOE die Spermienparameter signifikant. Die histologischen Ergebnisse in der EMR-Gruppe zeigten jedoch unregelmäßige Hodenkanälchen, wenige Spermatogonien, riesige vielkernige Zellen, degenerierte Spermatozoen und die Anzahl der Leydig-Zellen war signifikant reduziert. Die PCNA-Markierungsindizes waren in der EMR-Gruppe signifikant höher als in der Kontrollgruppe. Außerdem beeinträchtigt EMR die Spermatogenese und führt zu Apoptose aufgrund von Hitze und anderen stressbedingtem EMR im Hodengewebe. Diese Studie kommt zu dem Schluss, dass eine chronische Exposition gegenüber EMR zu einer Hodenschädigung führt, die durch einen Extrakt aus Moringa oleifera-Blättern verhindert werden kann.

Kommentar: Angemessen/positiv.

18. Liu et al. (2015).

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

Vierundzwanzig Ratten wurden bei 900 MHz elektromagnetischer Strahlung mit einer speziellen Absorptionsrate von $0,66 \pm 0,01$ W/kg für 2 h/Tag exponiert. Nach 50 Tagen wurden die Spermienzahl, Morphologie, Apoptose, reaktive Sauerstoffspezies (ROS) und die gesamte antioxidative Kapazität (TAC), die die Summe der enzymatischen und nicht-enzymatischen Antioxidantien darstellt, untersucht. Mittels Western-Blotting und Reverse-Transkriptase-PCR wurden die Expressionsniveaus von mit Apoptose zusammenhängenden Proteinen und Genen bestimmt, darunter bcl-2, bax, Cytochrom c und Capase-3. Ergebnisse: In der vorliegenden Studie war der Prozentsatz der apoptotischen Spermienzellen in der Expositions-Gruppe im Vergleich zur Kontroll-Gruppe signifikant um 91,42 % erhöht. Außerdem war die ROS-Konzentration in der Expositions-Gruppe um 46,21 % erhöht, während die TAC um 28,01 % verringert war. Die Strahlung verringerte auch dramatisch die Protein- und mRNA-Expression von bcl-2 und erhöhte die von bax, Cytochrom c und Capase-3. Schlussfolgerung: HF-EMR erhöht den ROS-Gehalt und verringert die TAC in Rattenspermien. Übermäßiger oxidativer Stress verändert die Expression von Apoptose-verwandten Genen und löst die Spermien-Apoptose durch bcl-2, bax, Cytochrom c und Caspase-3-Signalwege aus.

Kommentar: Angemessen/positiv.

19. Saygin et al. (2015).

Türkei. Sprague-Dawley-Ratten. Reproduktionstoxizität.

Das Ziel dieser Studie war es, die elektromagnetische Strahlung (EMF) zu untersuchen, die von drahtlosen Geräten (2,45 GHz) ausgesendet wird und physiopathologische oder ultrastrukturelle Veränderungen in den Hoden von Ratten verursachen kann. Wir untersuchten, ob die zusätzliche Gallsäure (GA) diese nachteiligen Auswirkungen reduzieren kann. Für diese Studie wurden sechs Wochen alte männliche Sprague-Dawley-Ratten verwendet. Achtundvierzig Ratten wurden zu gleichen Teilen in vier Gruppen aufgeteilt, die wie folgt benannt wurden: Scheinbehandlung, nur EMR (EMR, 3 Stunden täglich für 30 Tage), EMR1GA (30 mg/kg/Tag) und GA (30 mg/kg/Tag). Die Werte für Malondialdehyd (MDA) und den Gesamtoxidationsstatus (TOS) stiegen in der Gruppe "nur EMR" an ($p < 0,001$ für beide). Die Werte für TOS und den oxidativen Stressindex (OSI) sanken in der mit GA behandelten Gruppe signifikant ($p < 0,001$ bzw. $p < 0,045$). Die Gesamtaktivität des antioxidativen Status (TAS) nahm in der EMR-Gruppe ab und stieg in der GA-Behandlungsgruppe an ($p < 0,001$ bzw. $p < 0,029$). Die Werte von Testosteron und VEGF (vaskulärer endothelialer Wachstumsfaktor) sanken in der EMR-Gruppe, was jedoch statistisch nicht signifikant war. Die Testosteron- und VEGF-Werte stiegen in der EMR1GA-Gruppe im Vergleich zur EMR-Gruppe ($p < 0,002$) und auch in der GA-Gruppe im

Vergleich zur Kontroll- und EMR-Gruppe (p50,044 bzw. p50.032). Die Färbung von Prostaglandin E2 (PGE2) und Calcitonin Gene Related Peptide (CGRP) nahm in den Hodentubuli der EMR-Gruppe zu ($p < 0,001$ für beide) und in den Hodentubuli der EMR1GA-Gruppe ab ($p < 0,001$ für alle Parameter). In der EMR-Gruppe enthielten die meisten Hodenkanälchen weniger Spermatozoen, und die Anzahl der Spermatozoen in den Hodenkanälchen nahm ab. Alle diese Befunde und die Regenerations-Reaktion, gekennzeichnet durch mitotische Aktivität, nahmen in den Hodentubuli der EMR1GA-Gruppe zu ($p < 0,001$). Langfristige EMR-Exposition führte zu einer Hoden-Physiopathologie durch oxidative Schäden und Entzündungen. GA könnte sich positiv auf die Hoden-Physiopathologie der präpubertären Ratte auswirken.

Kommentar: Angemessen/positiv.

20. Bilgici et al. (2018).

Türkei. Wistar-Ratten (M). Reproduktionstoxizität.

Die entzündliche Wirkung und der Hoden-Schaden bei Ratten, die bei schwachen elektromagnetischen Feldern (EMF) bei 2,45 GHz Mikrowellenstrahlung exponiert wurden, wurden untersucht. Zweiundzwanzig Wistar-Ratten wurden in zwei Gruppen aufgeteilt. Gruppe 1 war die Kontrollgruppe und wurde nicht mit EMF exponiert. Gruppe 2 wurde mit schwachen EMF (durchschnittliches E-Feld $3,68 \pm 0,36$ V/m, durchschnittliche Ganzkörper-SAR, 0,0233 W/kg, in 10 g Gewebe) bei 2,45 GHz für 1 Stunde/Tag an 30 aufeinanderfolgenden Tagen 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 und IL-6, IL-10 und IL-32 im Hodengewebe der Ratten gemessen und das Hodengewebe histopathologisch auf Spermatogenese und Gerinnungsnekrose untersucht. Es wurde festgestellt, dass die Serum-IL-6- und CRP-Werte in der Studiengruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant unterschiedlich waren ($p < .05$), aber es wurde kein signifikanter Unterschied bei den Serum-IL-10-, IL-32-Werten und den Hodengewebe-IL-6-, IL-10-, IL-32-Werten im Vergleich zur Kontrollgruppe festgestellt ($p > .05$). Andererseits ergab die histopathologische Untersuchung des Hodengewebes einen signifikanten Unterschied in Bezug auf Nekrose und Spermatogenese im Vergleich zur Kontrollgruppe ($p < .05$). Daraus kann geschlossen werden, dass schwache EMF bei 2,45 GHz Entzündungen und Hodenschäden verstärken und sich negativ auf die Funktion des männlichen Fortpflanzungssystems auswirken.

Kommentar: Angemessen/positiv.

21. Guo et al. (2019).

China. Sprague-Dawley-Ratten. Reproduktionstoxizität.

Unter bestimmten beruflichen Bedingungen sind Arbeitnehmer zwangsläufig hochintensiven Hochfrequenzfeldern (HF) ausgesetzt. In dieser Studie untersuchten wir die Auswirkungen einer einmonatigen Exposition bei einem gepulsten modulierten HF-Feld von 220 MHz mit einer Leistungsdichte von 50 W/m^2 auf die Spermien-Qualität bei männlichen, erwachsenen Ratten. Die Spermien-Qualität wurde durch Messung der Anzahl, Abnormalität und Überlebensrate der Spermien-Zellen bewertet. Die Morphologie der Hoden wurde durch Hämatoxylin-Eosin-Färbung (HE) untersucht. Der Gehalt an sezernierenden Faktoren in den Sertoli- (SC) und Leydig-Zellen (LC) wurde mit einem enzymatischen Immunoassay (ELISA) bestimmt. Der Gehalt an gespaltener Caspase 3 im Hoden wurde durch Immunfluoreszenzfärbung nachgewiesen. Schließlich wurde die Expression der mit der Apoptose zusammenhängenden Proteine (Caspase 3, BAX und BCL2) in den Hoden durch Western Blotting bestimmt. Im Vergleich zur Schein-Expositions-Gruppe nahm die Spermienqualität in der HF-Gruppe deutlich ab. Die Konzentrationen der sezernierenden Faktoren der SCs und die Morphologie des Hodens zeigten eine deutliche Veränderung nach der HF-Exposition. Der Gehalt des Sekretionsfaktors der LCs nahm nach der HF-Exposition signifikant ab. Die Werte von gespaltener Caspase 3, Caspase 3 und das BAX/BCL2-Verhältnis im Hoden stiegen nach der HF-Exposition deutlich an. Diese Daten deuten insgesamt darauf hin, dass unter den vorliegenden experimentellen Bedingungen eine gepulste modulierte 220 MHz-HF-Exposition die Spermien-Qualität bei Ratten beeinträchtigen könnte, und dass die Störung der Sekretions-Funktion der LCs und die erhöhte Apoptose der Hoden-Zellen, die durch das HF-Feld induziert wurde, durch diese schädigende Wirkung erklärt werden könnten.

Kommentar: Angemessen/positiv.

22. Yu et al., 2020.

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

Obwohl die männlichen Fortpflanzungsorgane häufig Smartphone Radiofrequency Electromagnetic Radiation (SRF-EMR) ausgesetzt sind, ist derzeit nur wenig über die direkten Auswirkungen einer langfristigen SRF-EMR-Exposition auf die Hoden und deren Beteiligung an der Suppression des männlichen Fortpflanzungspotenzials bekannt. Die vorliegende Studie wurde konzipiert, um diese Frage mit Hilfe von 4G SRF-EMR bei Ratten zu untersuchen. Ein einzigartiges Expositionsmodell mit einem 4G-Smartphone ermöglichte eine lokale Exposition am Hodensack der Ratten für 6 Stunden pro Tag (das Smartphone wurde im aktiven Gesprächsmodus gehalten und empfing einen externen Anruf für 1 Minute in 10-minütigen Intervallen). Die Ergebnisse zeigten, dass eine SRF-EMR-Exposition über 150 Tage die Spermienqualität und das Gewicht der Jungen verringerte, begleitet von einer Hodenverletzung. Bei Ratten, die 50 oder 100 Tage lang SRF-EMR ausgesetzt waren, waren diese negativen Auswirkungen jedoch nicht zu beobachten. Sequenzierungsanalysen und Western Blotting deuteten auf eine Spock3-Überexpression in den Hoden von Ratten hin, die 150 Tage lang SRF-EMR ausgesetzt waren. Die Hemmung der Spock3-Überexpression verbesserte die Verschlechterung der Spermien-Qualität und milderte die Hoden-Verletzung und die BTB-Störung bei den exponierten Ratten. Zusätzlich unterdrückte die SRF-EMR-Exposition die MMP2-Aktivität, während sie die Aktivität der MMP14-Spock3-Komplexe erhöhte und die MMP14-MMP2-Komplexe verringerte; diese Ergebnisse wurden durch die Hemmung von Spock3 umgekehrt. Somit verringerte eine langfristige Exposition gegenüber 4G SRF-EMR die männliche Fruchtbarkeit durch eine direkte Störung der Spock3-MMP2-BTB-Achse in den Hoden von erwachsenen Ratten. Soweit wir wissen, ist dies die erste Studie, die eine direkte Toxizität von SRF-EMR auf die Hoden zeigt, die nach langfristiger Exposition auftritt.

Kommentar: Angemessen/positiv.

ENTWICKLUNGSTOXIZITÄT

Hamster (Tabelle 24, a)

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

Deutschland. Dsungarische Hamster. Entwicklungstoxizität.

In drei Experimenten wurden erwachsene männliche Dsungarische Hamster (*Phodopus sungorus*) 24 Stunden/Tag für 60 Tage bei hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) bei 383, 900 und 1800 MHz exponiert, moduliert nach den TETRA- (383 MHz) bzw. GSM-Standards (900 und 1800 MHz). Ein radiales Wellenleitersystem gewährleistete eine gut definierte und gleichmäßige Exposition mit einer über den ganzen Körper gemittelten spezifischen Absorptionsrate von 80 -mW/kg, was der Obergrenze der Ganzkörperexposition der allgemeinen Bevölkerung in Deutschland und anderen Ländern entspricht. Für jedes Experiment wurden Hamster unter Verwendung von zwei identischen Wellenleitern blind exponiert (n = 120) und scheinexponiert (n = 120). In allen Experimenten wurden die Zirbeldrüsen- und Serum-Melatonin-Werte sowie die Gewichte von Hoden, Gehirn, Nieren und Leber nicht beeinflusst. Bei 383 MHz führte die Exposition zu einem signifikanten, vorübergehenden Anstieg des Körpergewichts von bis zu 4%, während bei 900 MHz dieser Anstieg des Körpergewichts ausgeprägter (bis zu 6%) und nicht vorübergehend war. Bei 1800 MHz wurde keine Wirkung auf das Körpergewicht festgestellt. Die Ergebnisse bestätigen frühere Befunde, die keine Auswirkungen von HF-EMF auf den Melatoninspiegel in vivo und in vitro gezeigt haben. Die Daten stimmen mit der Hypothese überein, dass absorbierte HF-Energie zu metabolischen Veränderungen führen kann, die schließlich zu einer Erhöhung des Körpergewichts bei exponierten Tieren führen. Die Daten unterstützen die Vorstellung, dass metabolische Effekte von HF-EMF in zukünftigen Studien genauer untersucht werden müssen.

Kommentar: Angemessen/negativ.

Mäuse (Tabelle 25, a-c)[24. Finnie et al. a, b \(2006, 2009\)](#)

BALB/c-Mäuse. Entwicklungstoxizität.

Es sollte bestimmt werden, ob eine Exposition des fötalen Mäuse-Gehirns bei Mobilfunk-Hochfrequenz-Feldern während der gesamten Trächtigkeit eine Stress-Reaktion hervorruft, die durch Induktion von Hitzeschock-Proteinen (HSP) nachweisbar ist. Unter Verwendung eines speziell entwickelten Expositions-Systems bei 900 MHz wurden trächtige Mäuse einer einzelnen Ganzkörper-Fernfeld-Exposition bei einer spezifischen Absorptionsrate von 4 W/kg für 60 min/Tag vom 1. bis zum 19. Tag der Trächtigkeit ausgesetzt. Die Kontrollmäuse wurden schein-exponiert oder bewegten sich frei in einem Käfig, um jeglichen Stress zu kontrollieren, der durch das Zurückhalten im Expositions-Modul verursacht wurde. Unmittelbar vor der Geburt an Tag 19 wurden die fötalen Gehirne entnommen, in 4% Paraformaldehyd fixiert und in Paraffin eingebettet. Aus jedem Gehirn wurden drei koronale Abschnitte geschnitten, die eine Vielzahl von anatomischen Regionen umfassten, und jede Stressreaktion wurde durch Immunfärbung für HSP25, 32 und 70 nachgewiesen. Ergebnisse: Es gab in keinem Gehirn eine Induktion von HSP32 oder 70, während die HSP25-Expression auf zwei Hirnstamm-Kerne beschränkt war und in exponierten und nicht-exponierten Gehirnen gleichmäßig auftrat.

Kommentar: Angemessen/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 (HEMF) auf Mäuseföten. Trächtige Mäuse wurden gleichzeitig bei zwei Arten von HF-Signalen exponiert, Single Code Division Multiple Access (CDMA) und Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA). Die Mäuse erhielten während der gesamten Trächtigkeit täglich zwei 45-minütige HF-Feldexpositionen, die durch ein 15-minütiges Intervall getrennt waren. Die durchschnittliche spezifische Ganzkörper-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 mit CDMA- und WCDMA-HF-EMF keine erkennbaren schädlichen Auswirkungen auf Mäuseföten hat.

Kommentar: Ausreichend (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 bei elektromagnetischer Nahfeld-Strahlung, die von einem Handy ausgesendet wird, da die potenziell gefährliche elektromagnetische Strahlung, die von Handys ausgesendet wird, derzeit von großem öffentlichem Interesse ist. Physisch vergleichbare trächtige Mäuse wurden der hochfrequenten Strahlung eines Mobiltelefons (GSM 900 MHz) ausgesetzt. 5 Stunden nach der Geburt wurden die meisten Jungtiere fixiert und anschließend doppelt gefärbt (in toto) und konventionell in Paraffin histologisch untersucht. Andere Jungtiere blieben bis zum Durchbruch der Zähne bei ihren Müttern. Die strukturelle Entwicklung wurde beurteilt, indem die Neugeborenen auf Anomalien und/oder Veränderungen der Weichteile und der Skelettanatomie untersucht wurden. Elektromagnetisch hochfrequent exponierte Neugeborene, die äußerlich untersucht wurden, zeigten einen normalen Phänotyp. Histochemische und histologische Untersuchungen zeigten jedoch Abweichungen bei den exponierten Föten im Vergleich zu den Kontroll-Föten hinsichtlich der Verknöcherung der Schädelknochen und der Rippen des Brustkorbs sowie der Verschiebung des Meckel-Knorpels. Wurfgeschwister, die nach dem Durchbruch der Zähne untersucht wurden, zeigten normale Phänotypen. Es wird geschlussfolgert, dass eine leichte Exposition gegenüber Mobilfunkstrahlung die fötale Entwicklung von Mäusen auf der Ebene der Verknöcherung beeinflussen kann, wenn auch nur vorübergehend. Die beobachteten Entwicklungsabweichungen könnten durch die Berücksichtigung des unterschiedlichen embryonalen Ursprungs und der Art der Verknöcherung der betroffenen Skelettelemente erklärt werden.

Kommentar: Angemessen/positiv.

27. Sambucci et al., 2011.

Italien. C57BL/6 Neugeborene Mäuse (m und w). Entwicklungstoxizität (Immuntoxikologie).

Die Entwicklung des Immunsystems beginnt während der Embryogenese, setzt sich während des fötalen Lebens fort und schließt seine Reifung im Säuglingsalter ab. Die Exposition gegenüber immuntoxischen Verbindungen in einer Höhe, die bei Erwachsenen begrenzte/vorübergehende Wirkungen hervorruft, führt zu langanhaltenden oder dauerhaften Immundefiziten, wenn sie während des perinatalen Lebens auftritt. Potenziell schädliche Hochfrequenzexposition 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 Hochfrequenz-Exposition? Um diese Frage zu klären, wurden neugeborene Mäuse ab dem Tag nach der Geburt fünf Wochen lang mit WiFi-Signalen bei konstanten spezifischen Absorptionsraten (SAR) von 0,08 oder 4 W/kg, 2 Stunden/Tag, 5 Tage/Woche, exponiert. Die Experimente wurden in einem Blindverfahren durchgeführt, wobei schein-exponierte Gruppen als Kontrollen dienten. Bei den Mäusen beider Geschlechter wurden keine Unterschiede im Körpergewicht und in 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 Mikrowellen (MW)-exponierten (SAR 4 W/kg) männlichen (nicht in weiblichen) Mäusen im Vergleich zu schein-exponierten Mäusen. Insgesamt unterstützen unsere Ergebnisse nicht die Hypothese, dass eine frühe postnatale Exposition gegenüber WiFi-Signalen schädliche Auswirkungen auf das sich entwickelnde Immunsystem hat.

Kommentar: Angemessen/negativ, außer einer verminderten IFN-g Produktion in Milz-Zellen von Mikrowellen-exponierten (SAR 4 W/kg) männlichen (nicht weiblichen) Mäusen im Vergleich zu schein-exponierten Mäusen.

28. Zhang et al., 2015.

China. CD1-Mäuse. Entwicklungstoxizität (Verhaltensstudie).

Die jüngste rasche Entwicklung elektronischer Kommunikationstechniken führt zu einem deutlichen Anstieg der Exposition von Menschen gegenüber elektromagnetischen Feldern (EMF). Dies hat in der Öffentlichkeit Besorgnis über die gesundheitlichen Gefahren einer langfristigen EMF-Exposition in der Umwelt für Föten und Kinder ausgelöst. Einige Studien legen nahe, dass die EMF-Exposition bei Kindern Störungen des Nervensystems hervorrufen könnte. Über geschlechtsabhängige Wirkungen der Mikrowellenexposition auf kognitive Störungen wurde jedoch bisher nicht berichtet. Hier untersuchten wir, ob eine in utero-Exposition bei 9,417-GHz-Mikrowellen während der Trächtigkeit (Tage 3,5-18) das Verhalten beeinflusst, indem wir den Open Field Test (OFT), den Elevated-Plus Labyrinth (EPM), den Tail Suspension Test (TST), den Forced Swimming Test (FST) und den Morris Water Labyrinth (MWM) verwendeten. Wir fanden heraus, dass Mäuse weniger Bewegung in der Mitte eines offenen Feldes (unter Verwendung des OFT) und in einem offenen Arm (unter Verwendung des EPM) zeigten, nachdem sie in utero einer 9,417-GHz-Strahlung ausgesetzt waren, was darauf hindeutet, dass die Mäuse ein erhöhtes angstbezogenes Verhalten hatten. Die Mäuse zeigten eine verringerte Unbeweglichkeit im TST und FST nach der in utero-Exposition bei 9,417-GHz-Strahlung, was darauf hindeutet, dass die Mäuse ein verringertes depressionsbezogenes Verhalten hatten. Beim MWM-Test beobachteten wir, dass die männlichen Nachkommen ein vermindertes Lern- und Gedächtnisverhalten zeigten, während die weiblichen Nachkommen in ihrem Lern- und Gedächtnisverhalten nicht beeinträchtigt waren, was darauf schließen lässt, dass Mikrowellen geschlechtsabhängige Wirkungen haben. Zusammenfassend haben wir den ersten experimentellen Beweis dafür geliefert, dass Mikrowellen geschlechtsabhängige Wirkungen hervorrufen.

Kommentar: Angemessen/positiv (geschlechtsabhängige Wirkungen).

29. Fatehi et al. (2018).

Iran. NMRI-Mäuse. Entwicklungstoxizität.

Zweihundert männliche und weibliche NMRI-Mäuse wurden verwendet. Einhundert männliche Mäuse wurden in fünf Gruppen (n = 20) als Kontroll- und Expositionsgruppen aufgeteilt. Diejenigen, die mit Handy-HF im "Standby-Modus" 1, 5 und 10 Stunden täglich bestrahlt wurden, wurden als Gruppen II, III bzw. IV bezeichnet. Gruppe V wurde täglich eine Stunde mit dem Mobiltelefon im "Aktiv-Modus" bestrahlt. Nach 30 Tagen Bestrahlung wurden 50 männliche und 50 weibliche Tiere 24 Stunden lang gehalten, um ihre Embryonen zu untersuchen. 50 männliche Tiere wurden zur Bewertung der In-vitro- und In-vivo-Parameter skarifiziert, 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 = .000), jedoch einen signifikanten Anstieg der Anzahl der toten Embryonen (p = .000). Darüber hinaus verringerte die 5-stündige tägliche Bestrahlung signifi-

kant die Zahl der Embryonen der Klasse A ($p = .015$), während sie die Zahl der Embryonen der Klassen B, C und D signifikant erhöhte (p -Werte = 0,026). Darüber hinaus wurde beim Vergleich der Gruppen IV und V mit der Kontrollgruppe eine signifikante Zunahme der Schwangerschaftsdauer festgestellt ($p = .005$ bzw. $p = .009$). In den genannten Gruppen wurde jedoch ein signifikanter Rückgang der Zahl der neugeborenen Mäuse festgestellt ($p = .001$ bzw. $p = .004$). Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass die Mobilfunkstrahlung die Entwicklung der Embryonen sowie die Anzahl der Neugeborenen und die Dauer der Trächtigkeit bei NMRI-Mäusen beeinträchtigen kann, was eine wichtige Ursache für das Versagen der Fortpflanzung sein könnte.

Kommentar : Angemessen/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 Stoffen; zu den exponierten Arbeitnehmern gehören diejenigen, die in der Mikroelektronikindustrie, bei Kunststoffversiegelungen und mit elektrochirurgischen Geräten arbeiten. Frühere Tierversuche deuten darauf hin, dass eine durch eine erhöhte Umgebungstemperatur ausgelöste Hyperthermie die Toxizität und Teratogenität einiger chemischer Stoffe verstärken kann. Wir haben zuvor gezeigt, dass eine kombinierte Exposition mit Hochfrequenzstrahlung (HF; 10 MHz), die ebenfalls Hyperthermie auslöst und bei exponierten Tieren teratogen ist, und dem industriellen Lösungsmittel 2-Methoxyethanol (2ME) eine erhöhte Teratogenität bei Ratten bewirkt. In einer nachfolgenden Studie wurde diese Forschung wiederholt und erweitert, indem die interaktive dosisabhängige Teratogenität von HF-Strahlung (Scheinexposition oder Aufrechterhaltung der Kolontemperaturen bei 42,0 Grad Celsius 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 untersucht wurde. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, die Auswirkungen von HF-Strahlung (die ausreicht, um die Kolontemperatur 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) auf Ratten am 13 Trächtigkeitstag zu bestimmen. Mit dem Schwerpunkt auf der Charakterisierung des Dosis-Wirkungs-Musters von Wechselwirkungen soll in dieser Untersuchung die niedrigste Stufe der Wechselwirkung bestimmt werden. Die Föten wurden am 20. Tag auf äußere und skelettale Missbildungen untersucht. Die Ergebnisse stimmen mit früheren Beobachtungen überein. Eine dosisabhängige Entwicklungstoxizität wurde für 2ME sowohl in Gegenwart als auch in Abwesenheit von HF-Strahlung beobachtet. Die gleichzeitige HF-Strahlenexposition veränderte jedoch die Form der Dosis-Wirkungs-Kurve von 2ME. Diese Daten weisen darauf hin, dass kombinierte Expositionswirkungen bei der Entwicklung von Expositionsrichtlinien und Interventionsstrategien berücksichtigt werden sollten.

Kommentar: 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 Stoffen auftreten, oder ob ähnliche Wechselwirkungen auch bei anderen Chemikalien zu beobachten sind. Da Methanol sowohl als Lösungsmittel als auch als Kraftstoffzusatz weit verbreitet ist und in hohen Konzentrationen bei Tieren teratogen wirkt, haben wir Methanol als Chemikalie ausgewählt, um die Verallgemeinerbarkeit zu untersuchen. Auf der Grundlage der Literatur und unserer 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-Strahlung ausgesetzt, die ausreichte, um die Kolontemperatur bei 41 Grad Celsius zu halten (oder Schein r). Die am 13. Tag behandelten Tiere erhielten Methanol plus entweder 0 oder 100 mg/kg 2ME. Da wir beobachteten, dass Methanol zu einer Unterkühlung führte, erhielten einige Gruppen die erste Dosis Methanol gleichzeitig mit der HF- oder 2ME-Bestrahlung, andere bekamen die erste Dosis Methanol 1,5 Stunden vor der HF- oder 2ME-Bestrahlung. Die Muttertiere wurden am 20. Trächtigkeitstag getötet, und die Föten wurden auf äußere Missbildungen untersucht. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass HF-Bestrahlung oder Methanol am 9. Tag die Häufigkeit von resorbierten Föten erhöhte, aber es wurden keine interaktiven Effekte beobachtet. Die Resorptionen waren in den Gruppen am höchsten, die die experimentellen Behandlungen im Abstand von 1,5 Stunden erhielten. Die höhere Methanoldosis verringerte auch das Gewicht der Föten. Die Verabreichung von 2ME oder Methanol am 13. Tag erhöhte die Rate der Missbildungen, und es gab Hinweise auf eine positive

Wechselwirkung zwischen 2ME und Methanol. Das Gewicht der Föten wurde durch 2ME und Methanol allein verringert, aber es wurde keine Wechselwirkung beobachtet. Auch eine getrennte Verabreichung der Teratogene hatte keinen Einfluss auf die Ergebnisse. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass Wechselwirkungen in der Entwicklungstoxikologie, wie die von uns untersuchten Wechselwirkungen von HF-Strahlung, 2ME und Methanol, komplex sind, und dass solche Wechselwirkungen ohne weitere Forschung nicht vollständig verstanden oder vorhergesagt werden können. Es ist wichtig, dass kombinierte Expositionswirkungen bei der Entwicklung von Richtlinien und Interventionsstrategien für die Exposition gegenüber physikalischen und chemischen Wirkstoffen berücksichtigt werden.

Kommentar: 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 während der Trächtigkeit gegenüber einem EMF, das auf die Kopfreion abzielt, ähnlich dem von Mobiltelefonen, die Embryogenese von Ratten beeinträchtigen könnte. Ein 1,95-GHz-Breitband-Code-Division-Multiple-Access (W-CDMA)-Signal, das für das International Mobile Telecommunication 2000 (IMT-2000)-System verwendet wird und für den freien mobilen Multimedia-Zugang (FOMA) genutzt wird, wurde für die Exposition am Kopf von vier Gruppen trächtiger CD(SD)-IGS-Ratten (20 pro Gruppe) während der Trächtigkeitstage 7-17 verwendet. Die Exposition wurde für 90 Minuten/Tag am Morgen durchgeführt. Die räumliche durchschnittliche spezifische Absorptionsrate (SAR) für die einzelnen Gehirne wurde auf 0,67 und 2,0 W/kg festgelegt, mit Spitzen-Gehirn-SARs von 3,1 und 7,0 W/kg für niedrige (Gruppe 3) bzw. hohe (Gruppe 4) Expositionen und einer durchschnittlichen Ganzkörper-SAR von weniger als 0,4 W/kg, um keine thermischen Wirkungen aufgrund einer Temperaturerhöhung zu verursachen. Kontroll- und Scheinexpositionsgruppen wurden ebenfalls einbezogen. Am 20. Trächtigkeitstag wurden alle Muttertiere getötet und die Föten per Kaiserschnitt entnommen. Es gab keine Unterschiede in der Körpergewichtszunahme der Mütter. 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, Plazentagewicht, Geschlechterverhältnis, Gewicht oder äußere, viszerale oder skelettale Anomalien der lebenden Föten.

Kommentar: Angemessen/negativ.

33. Sommer et al., 2009.

Deutschland, C57BL-Mäuse (M, W). Mehrgenerationenstudie. Entwicklungstoxizität.

Männliche und weibliche Mäuse (C57BL) wurden chronisch (lebenslang, 24 h/Tag) bei elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks bei etwa 1966 MHz (UMTS) exponiert. Ihre Entwicklung und Fruchtbarkeit wurde über vier Generationen durch die Untersuchung von histologischen, physiologischen, reproduktiven und Verhaltensfunktionen überwacht. Exposition von 24 h/Tag, 7 Tage/Woche, mit 128 männlichen und 256 weiblichen Mäusen über vier Generationen. Die mittleren Ganzkörper-SAR-Werte, berechnet für erwachsene Tiere zum Zeitpunkt der Paarung, 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/m²), so dass die SAR-Werte aufgrund der unterschiedlichen Anzahl von erwachsenen Tieren und Jungtieren im Laufe des Versuchs variierten. Das Experiment wurde als Blindversuch durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen keine schädlichen Auswirkungen der Exposition auf die Fruchtbarkeit und Entwicklung der Tiere. Die Anzahl und die Entwicklung der Welpen wurden durch die Exposition nicht beeinflusst. Einige Daten, wenn auch ohne klare Dosis-Wirkungs-Beziehung, deuten auf Wirkungen der Exposition auf die Nahrungsaufnahme hin, was in Übereinstimmung mit einigen zuvor veröffentlichten Daten steht. Zusammenfassend deuten die Ergebnisse dieser Studie nicht auf schädliche Wirkungen einer Langzeit-Exposition von Mäusen mit UMTS über mehrere Generationen hin.

Kommentar: Angemessen/negativ.

34. Ozorak et al., 2013.

Türkei. Wistar-Ratten. Entwicklungstoxizität.

Die vorliegende Studie wurde durchgeführt, um die Auswirkungen sowohl von Wi-Fi (2,45 GHz)- als auch von Mobiltelefonen (900 und 1800 MHz)-induzierter elektromagnetischer Strahlung (EMR) auf oxidativen Stress und Spurenelement-Gehalte in den Nieren und Hoden von heranwachsenden Ratten von der Trächtigkeit bis zum Alter von 6 Wochen zu bestimmen. Zweiunddreißig Ratten und ihre 96 neugeborenen Nachkommen wurden gleichmäßig in vier

verschiedene Gruppen aufgeteilt, nämlich Kontrolle, 2,45-GHz-, 900-MHz-, und 1800-MHz-Gruppen. Die 2,45-GHz-, 900-MHz- und 1800-MHz-Gruppen wurden während der Trächtigkeit und des Wachstums 60 Minuten/Tag EMR ausgesetzt. In der vierten, fünften und sechsten Woche des Versuchs wurden Nieren- und Hodenproben von geköpften Ratten entnommen. Die Ergebnisse der vierten Woche zeigten, dass das Niveau der Lipidperoxidation in Niere und Hoden sowie die Werte für Kupfer, Zink, reduziertes Glutathion (GSH), Glutathionperoxidase (GSH-Px) und den gesamten antioxidativen Status (TAS) in der Niere in den EMR-Gruppen abnahmen, während die Eisenkonzentrationen in der Niere sowie die Konzentrationen von Vitamin A und Vitamin E in den Hoden in den EMR-Gruppen anstiegen. Die Ergebnisse der Proben aus der fünften Woche zeigten, dass die Eisen-, Vitamin A- und β -Carotin-Konzentrationen in den Nieren der EMR-Gruppen zunahmen, während die GSH- und TAS-Werte abnahmen. Die Ergebnisse der sechsten Woche zeigten, dass die Eisenkonzentrationen in der Niere und das Ausmaß der Lipidperoxidation in Niere und Hoden in den EMR-Gruppen zunahmen, während die Kupfer-, TAS- und GSH-Konzentrationen abnahmen. Bei den Chrom-, Magnesium- und Mangankonzentrationen in den Nieren gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den vier Gruppen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Wi-Fi- und Mobiltelefon-induzierte EMR oxidative Schäden verursacht, indem sie das Ausmaß der Lipidperoxidation und den Eisenspiegel erhöht, während der gesamte antioxidative Status, die Kupfer- und GSH-Werte sinken. Wi-Fi- und Mobiltelefon-induzierte EMR können bei heranwachsenden Ratten eine frühzeitige Pubertät und oxidative Nieren- und Hodenschäden verursachen.

Kommentar: Angemessen, positiv (auch Hodenverletzungen).

35. Poulletier de Gannes et al., 2013.

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

Zum ersten Mal bewerteten wir die Auswirkungen einer Exposition mit dem 2450-MHz-Wi-Fi-Signal (1 h/Tag, 6 Tage/Woche) auf das Fortpflanzungssystem von männlichen und weiblichen Wistar-Ratten, die während der sexuellen Reifung dem Wi-Fi-Signal vorexponiert waren. 36 männliche und weibliche Wistar-Ratten wurden im Alter von 6 bzw. 7 Wochen gekauft (Janvier, Frankreich) und 1 h/Tag, 6 Tage/Woche exponiert, 12 Tiere pro Gruppe. Die Exposition dauerte 3 Wochen (Männchen) bzw. 2 Wochen (Weibchen), dann wurden die Tiere verpaart und die Paare für weitere 3 Wochen exponiert. Am Tag vor der Geburt wurden die Föten auf Sterblichkeit, Anomalien und klinische Anzeichen untersucht. In unserem Experiment wurden keine schädlichen Wirkungen der Wi-Fi-Exposition auf die männlichen und weiblichen Fortpflanzungsorgane und die Fruchtbarkeit von Ratten bei 1 h pro Tag beobachtet. Es wurden keine makroskopischen Anomalien bei den Föten festgestellt, auch nicht bei dem kritischen Wert von 4 W/kg.

Kommentar: Angemessen/negativ.

36. Celik et al., 2016.

Türkei. Wistar-Ratten. Entwicklungstoxizität (neuro).

Die Studie untersucht die Auswirkungen von Wi-Fi-induzierter EMF auf das antioxidative Redoxsystem von Gehirn und Leber der Ratte während der Trächtigkeit und Entwicklung. Sechzehn trächtige Ratten und ihre 48 Neugeborenen wurden zu gleichen Teilen in Kontroll- und EMF-Gruppen aufgeteilt. Die EMF-Gruppen wurden von der Trächtigkeit bis zum Alter von 3 Wochen bei 2,45-GHz-EMF (1 Stunde/Tag an 5 Tagen/Woche) exponiert. Hirnrinden- und Leberproben wurden den Neugeborenen zwischen der ersten und dritten Woche entnommen. In den EMF-Gruppen waren die Lipidperoxidationswerte im Gehirn und in der Leber nach der EMF-Exposition erhöht; die Aktivität der Glutathionperoxidase (GSH-Px) und die Konzentrationen von Vitamin A, Vitamin E und β -Carotin waren jedoch im Gehirn und in der Leber verringert. Die Konzentrationen von Glutathion (GSH) und Vitamin C im Gehirn waren in den EMF-Gruppen ebenfalls niedriger als in den Kontrollgruppen; ihre Konzentrationen in der Leber veränderten sich jedoch nicht. Zusammenfassend lässt sich sagen, 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 im Vergleich zur Leber bei der Entwicklung von Neugeborenen empfindlicher auf oxidative Schäden zu reagieren.

Kommentar: Angemessen/positiv.

37. Shirai et al., 2016.

Japan. Sprague-Dawley-Ratten. Entwicklungstoxizität.

Um die möglichen schädlichen Wirkungen multifrequenter HF-EMF zu bewerten, wurde ein Experiment durchgeführt, bei dem trächtige Ratten und ihre Nachkommen gleichzeitig bei acht verschiedenen Kommunikationssignal-EMF (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) exponiert wurden. Sechsenddreißig trächtige 10 Wochen alte Sprague-Dawley (SD)-Ratten wurden in drei Gruppen zu je 12 Ratten aufgeteilt: eine Kontrollgruppe (Schein-Exposition) und zwei experimentelle Gruppen (niedrige und hohe HF-EMF-Exposition). Der gesamte Körper der Rattenmütter wurde vom 7. Schwangerschaftstag bis zur Entwöhnung 20 Stunden pro Tag bei HF-EMF exponiert, 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 bewerteten Parametern gehörten das Wachstum, der Trächtigkeitstatus 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 den F1-Nachkommen, die den HF-EMF ausgesetzt waren, oder bei den F2-Nachkommen wurden bei keinem der bewerteten Parameter abnorme Befunde beobachtet. Somit zeigte die gleichzeitige Ganzkörper-Exposition bei acht verschiedenen Kommunikationssignal-EMF mit Frequenzen zwischen 800 MHz und 5,2 GHz unter den Bedingungen des vorliegenden Experiments keine nachteiligen Auswirkungen auf die Trächtigkeit oder die Entwicklung der Ratten.

Kommentar: Angemessen/negativ.

38. Stasinopoulou et al. (2016).

Griechenland. Wistar-Ratten. Entwicklungstoxizität (neuro).

In der vorliegenden Studie wurden Wistar-Ratten (80 Muttertiere in 4 Gruppen) während der Trächtigkeit bei einer durchschnittlichen elektrischen Feldstärke von 3,7 V/m, 12 h/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 wurde eine Gruppe von Muttertieren und Nachkommen in ähnlicher Weise für weitere 22 Tage exponiert. Die Kontrollgruppe wurde schein-exponiert. Die Daten zeigten, dass die DECT-Basis-Strahlungsexposition am 17. Tag der Schwangerschaft zu einer Erhöhung der Herzfrequenz der Embryonen führte. Ein Verlust von Pyramidenzellen und eine Überexpression des Glia fibrillary acidic protein (GFAP) wurden in der CA4-Region des Hippocampus der 22 Tage alten Welpen festgestellt, die entweder während des pränatalen Lebens oder sowohl prä- als auch postnatal bestrahlt wurden. Veränderungen in der Integrität des Gehirns der 22 Tage alten Welpen könnten möglicherweise mit entwicklungsbedingten Verhaltensänderungen während der fötalen Periode zusammenhängen.

Kommentar: Angemessen/positiv.

39. Othman et al. (2017).

Tunesien. Wistar-Ratten. Entwicklungstoxizität (neuro).

Die vorliegende Arbeit untersuchte die Auswirkungen einer pränatalen Exposition bei Hochfrequenzwellen von herkömmlichen WiFi-Geräten auf die postnatale Entwicklung und das Verhalten von Ratten-Nachkommen. Zehn trächtige Wistar-Albino-Ratten wurden nach dem Zufallsprinzip in zwei Gruppen eingeteilt (n = 5). Die Versuchsgruppe wurde während der gesamten Trächtigkeitsdauer täglich 2 Stunden lang einem 2,45-GHz-WiFi-Signal ausgesetzt. Die weiblichen Kontrolltiere wurden den gleichen Bedingungen wie die behandelte Gruppe ausgesetzt, jedoch ohne WiFi-Strahlung. Nach der Geburt wurden die Nachkommen während ihrer 17 postnatalen Tage (PND) auf ihre körperliche und neurologische Entwicklung getestet, dann auf Angst (PND 28) und Motorik (PND 40-43) sowie auf die zerebrale oxidative Stressreaktion und die Cholinesterase-Aktivität in Gehirn und Serum (PND 28 und 43). Unsere Hauptergebnisse zeigten, dass die in-utero WiFi-Exposition die Neuroentwicklung der Nachkommen während der ersten sieben postnatalen Tage beeinträchtigte, ohne das emotionale und motorische Verhalten im Erwachsenenalter zu verändern. Außerdem induzierte die pränatale WiFi-Exposition ein Ungleichgewicht des zerebralen oxidativen Stresses (Anstieg des Malondialdehyd-Gehalts (MDA) und des Wasserstoffperoxid-Gehalts (H₂O₂) und 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 zerebraler als auch auf serologischer Ebene. Somit deckte die aktuelle Studie auf, dass die mütterliche Exposition bei WiFi-Hochfrequenzen zu verschiedenen nachteiligen neurologischen Wirkungen bei den Nachkommen führte, indem sie die Neuro-Entwicklung, das zerebrale Stress-Gleichgewicht und die Cholinesterase-Aktivität beeinflusste.

Kommentar: Angemessen/positiv.

Table 21 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: reproductive toxicity in male mice (450-6000 MHz) (a)

Reference, Strain, Species (Sex), Exposure duration	Frequency, Intensity Any other co-exposure	Exposure time, Number of animals	Observed effects	Comments
1. Mugunthan et al., 2012, Swiss albino mice (M), 30 to 180 days	2G ultra-high frequency radiation (900 - 1900 MHz); the highest SAR value for this standard handset was 1.69W/Kg	48 minutes/day; 18 mice/group	Exposed animal weight was lower at first, second and fourth month ($p < 0.05$). The mean testis weight of exposed mice was significantly reduced in all months except fourth month ($p < 0.05$) and the mean testis volume was significantly reduced in the first three months ($p < 0.05$). Mean seminiferous tubule density per unit area was significantly lower in exposed testis ($p < 0.01$). The mean seminiferous tubule diameter was significantly reduced in exposed testis ($p < 0.01$) except the second month. The mean number of Sertoli cells and Leydig cells were significantly reduced in exposed mice ($p < 0.01$). Mean serum testosterone level of exposed mice were significantly lower ($p < 0.01$). The following microscopic changes were found in the testis of RFR exposed mice. 1. The interstitium appeared wide 2. Sertoli cells and spermatogonia were detached from the basal lamina. 3. Vacuolar degeneration and desquamation of seminiferous epithelium. Most of the peripheral tubules showed maturation arrest in the spermatogenesis. Seminiferous tubules scored between 8 and 9 using Johnson testicular biopsy score count.	Adequate/positive
2. Shahn et al., 2014, Swiss mice (M), 30 days	2.45-GHz; SAR: 0.018 W/Kg	2 h/day; 20 mice group, 40 in total	RFR induced a significant decrease in sperm count and sperm viability along with the decrease in seminiferous tubule diameter and degeneration of seminiferous tubules. Reduction in testicular 3β HSD activity and plasma testosterone levels was also observed in the exposed group of mice. Increased expression of testicular i-NOS was observed in the MW-irradiated group of mice ($p < 0.01$)	Adequate/positive
3. Zhu et al., 2015, ICR mice (SPF), (M adult), 12 virgin females per each male were used for mating), 15 days	900 MHz; 1.6 mW/cm ² , whole body average SAR 0.731 W/kg; acute 2 Gy irradiation from Co60 source, at a dose rate of 1 Gy per minute, as positive control	4 h/day; 10 male mice per exposure group. After exposures, each male mouse was kept in a separate cage with 3 virgin females for mating. After 7 days, each male was separated from the females and transferred to a fresh cage with a new batch of 3 virgin females for mating in the second, third and fourth weeks (in total: 12 females per each male).	Not any statistically significant effect on average body weight, testes weight in male mice exposed to RFR. Comparison between the females mated to RF- and sham-exposed mice: non-significant differences in percentages of pregnancies, live and dead implants. There were no significant differences in calculated total implants, live and dead implants per pregnant female ($p > 0.05$).	Adequate/negative

Table 21 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: reproductive toxicity in male mice (450-6000 MHz) (continue b)

Reference, Strain, Species (Sex), Exposure duration	Frequency, Intensity Any other co-exposure	Exposure time, Number of animals	Observed effects	Comments
4. Pandey et al., 2017, Swiss albino mice (M), 35 days	900 MHz (GSM), 0.0054 - 0.0516 W/kg	4 or 8 h/day, 7 days/week, 15/group	Increased damage index in germ cells, sperm head defects, decreased sperm count, arrest in pre-meiotic stage of spermatogenesis, loss of immature germ cells into the seminiferous tubule lumen, epithelium depletion and maturation arrest (p<0.05)	Adequate/positive
5. Pandey et al., 2018, Swiss albino mice (M), 35 days	900 MHz (GSM), (Melatonin 5 mg/kg bw/day), 0.0054 - 0.0516 W/kg	6 h/day, 7 days/week, 15/group	Decreased sperm count, sperm head abnormalities, extensive DNA damage in germ cells, arrest in pre-meiotic stages of spermatogenesis, excess free radical generation resulting in histological and morphological changes in testis and germ cells morphology (p<0.05)	Adequate/positive (group treated without any supplement of melatonin)
6. Shahin et al., 2018, Swiss albino mice (M), 15, 30, and 60 days	2.45 GHz MW, whole body SAR 0.0146 W/kg	2 h/day; 10 mice/group	Exposure to 2.45 GHz MW leads to altered testicular histoarchitecture, decreased seminiferous tubule diameter, sperm count, sperm viability, and serum testosterone level. Duration dependent increment in total ROS, NO, and MDA level was observed in the testes of exposed animals. Exposure to RFR leads to altered expression of p53, Bax, Bcl-xL, Bcl-2, pro-caspase-3, active-caspase-3, and PARP-1. The expression of cytochrome c was found to be increased significantly in duration dependent manner in the testes of all RFR exposed mice as compared with controls. (p < 0.05)	Adequate/positive

Table 22 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: reproductive toxicity in female mice (450-6000 MHz) (a)

Reference, Strain, Species (Sex), Exposure duration	Frequency, Intensity Any other co-exposure	Exposure time, Number of animals	Observed effects	Comments
7. Gul et al., 2009, Swiss mice (F), 21 days	NR (mobile phone in standby position for 11 h and 45 min, and in call position for 15 min), NR	12 h/day, 7 days/week, 30/group	Decreased number of follicles in mice ovaries, decreased ovarian volume (p<0.01)	Adequate/equivocal
8. Shahin et al., 2017, Swiss albino mice (F), 4 months (120 days)	1800 MHz, Nokia 100 (2G, GSM) dual-band mobile phones, in different operative modes (dialing, receiving, stand-by and switched-off)	3 h/day; 24 mice/group, 2 experiments of 12mice/group, 48 female mice in total each,	Exposure caused significant elevation in ROS, NO, lipid peroxidation, total carbonyl content and serum corticosterone coupled with significant decrease in antioxidant enzymes in hypothalamus, ovary and uterus of mice. Compared to controls, exposed mice exhibited reduced number of developing and mature follicles as well as corpus lutea. Significantly decreased serum levels of pituitary gonadotrophins (LH, FSH), sex steroids (E2 and P4) and expression of SF-1, STAR, P-450scc, 3β-HSD, 17β-HSD, cytochrome P-450 aromatase, ER-α and ER-β were observed in all the exposed groups of mice, compared to control (p < 0.01)	Adequate/positive

Table 23 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: reproductive toxicity in male rats (450-6000 MHz) (a)

Reference, Strain, Species (Sex), Exposure duration	Frequency, Intensity Any other co-exposure	Exposure time, Number of animals	Observed effects	Comments
9. Ozguner et al., 2015, Sprague-Dawley rats (M), 4 weeks	900 MHz, 2 watts peak power, average power density 1 ± 04 mW/cm ²	30 minutes/day, 5 days/week; 10 rats/group, 20 in total	The weight of testes, testicular biopsy score count and the percentage of interstitial tissue to the entire testicular tissue were not significantly different in RFF group compared to the controls. The diameter of the seminiferous tubules and the mean height of the germinal epithelium were significantly decreased in RFF group (p<0.05). There was a significant decrease in serum total testosterone level in RFR group (p<0.05). Therefore, there was an insignificant decrease in plasma LH and FSH levels in RFF group compared to the control group (p>0.05).	Adequate/positive
10. Lee et al., 2010, Sprague-Dawley rats, 12 weeks	848.5 MHz, 2.0 W/kg (CDMA)	90 min/day, 5 days/week, 20/group	Not any statistically significant alteration (NS) for testicular function and spermatogenesis (p>0.05)	Adequate/ negative
11. Imai et al., 2011, Sprague-Dawley rats, 5 weeks	1950 MHz (CDMA), 0.4 W/kg, 0.08 W/kg	5 h/day, 7 days/week, 24/group	Not any statistically significant alteration (NS) for testicular function (p>0.05).	Adequate/negative
12. Meo et al., 2011, Wistar rats, 12 weeks	900, 1800 GHz (GSM). Intensities: NR	30 minutes/day, 60 minutes/day, 7 days/week 16/group (control group: 8)	Hypospermatogenesis and maturation arrest in the testis (Significance: NR)	Adequate/equivocal
13. Al-Damegh, 2012, Wistar albino rats (M), 14 consecutive days	900/1800/1900 MHz (GSM), 0.9 W/kg, vitamin C (40 mg/kg/day) or vitamin E (2.7 mg/kg/day)	15, 30, and 60 min/day; 30/group of exposed rats; 10/group of control rats	There was a significant increase in the diameter of the seminiferous tubules with a disorganized seminiferous tubule sperm cycle interruption in RFR-exposed group. The serum and testicular tissue conjugated diene, lipid hydroperoxide, and catalase activities increased 3-fold, whereas the total serum and testicular tissue glutathione and glutathione peroxidase levels decreased 3-5 fold in RFR-exposed animals (p<0.05)	Adequate/positive
14. Celik et al., 2012, Wistar-Kyoto rats (M), 3 months	NR, cell phone radiations, SAR 1.58 W/kg	24 h/day (30 M exposed, 15 M controls)	No significant differences in testis weights, seminiferous tubule diameters, and histopathological evaluations (p>0.05). Electron microscope analysis: membrana propria thickness and collagen fiber contents were increased, and the capillary veins extended in exposed animals. Common vacuolisation in the cytoplasm of the Sertoli cells, growth of electron-dense structures, and existence of large lipid droplets are the remarkable findings of this study.	Inadequate
15. Lee et al., 2012, Sprague-Dawley rats, 12 weeks	848.5 MHz (CDMA), 1950 MHz (WCDMA), 4.0 W/kg	45 min/day, 5 days/week, 20/group (cage control group: 5)	Not any statistically significant alteration (NS) for testicular function and spermatogenesis (p>0.05)	Adequate/negative
16. Ozlem-Nisbet et al., 2012, Albino Wistar rats (M), 90 days	1800 and 900 MHz, SAR: 3.00, 2.7, 2.2, 1.2 mW/kg for 900 MHz for 10, 20, 50, 70 days old rats; 0.053, 0.046, 0.011, 0.011 mW/kg for 1800 MHz for 10, 20, 50, 70 days old rats	2 h/day; 11 rats/group	The mean plasma total testosterone showed similarity among the two study groups and was significantly higher than the sham control rats. The percentage of epididymal sperm motility was significantly higher in the 1800 MHz group (P < 0.05). The morphologically normal spermatozoa rates were higher and the tail abnormality and total percentage abnormalities were lower in the 900 MHz group (P < 0.05). Histopathologic parameters in the 1800 MHz group were significantly higher (P < 0.05).	Adequate/positive

Table 23 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: reproductive toxicity in male rats (450-6000 MHz) (continued b)

Reference, Strain, Species (Sex), Exposure duration	Frequency, Intensity Any other co-exposure	Exposure time, Number of animals	Observed effects	Comments
17. Bin-Meferij El-kott et al., 2015, Sprague-Dawley rats, 8 weeks	900 MHz for GSM, NR intensity, 200 mg/kg aqueous extract of Moringa oleifera leaves	1 h/day (15 M exposed to RF+MO extract; 15 M exposed to RF; 15 M exposed to MO extract; 15 M controls)	Statistically significant decrease of epididymal sperm counts in the exposed group ($P < 0.001$). Significant decrease of sperm motility. Significant ($P < 0.001$) increase in the frequency percentage of dead spermatozoa in exposed animals. Overall, hypospermatogenesis and maturation arrest in spermatozoa were observed in the testes of exposed rats compared to their matched control.	Adequate/positive
18. Liu et al., 2015, Sprague-Dawley rats (M), 50 days (from 10 weeks of age)	900 MHz, SAR 0.66 W/kg	2 h/day (24 M exposed; 24 M controls)	Significant increase of the percentage of apoptotic sperm cells by 91.42% in exposed animals; Significant increase of the ROS concentration by 46.21%; Significant decrease of the TAC by 28%; Significant decrease of the protein and mRNA expression of bcl-2 and increase of bax, cytochrome c, and caspase-3 ($p < 0.05$)	Adequate/positive
19. Saygin et al., 2015, Sprague-Dawley rats (young M), 30 days	2.45 GHz, whole body SAR 3.21 W/kg, Gallic acid (GA) ,30 mg/kg/daily	3h/day; 12 rats/group, 48 in total	Malondialdehyde and total oxidant status (TOS) levels increased ($p < 0.01$) in RFR only group. TOS and oxidative stress index levels decreased in GA treated group significantly ($p < 0.05$). Total antioxidant status activities decreased in RFR only group and increased in GA treatment group ($p < 0.05$). Testosterone and vascular endothelial growth factor levels decreased in RFR only group, but this was not statistically significant. Testosterone and VEGF levels increased in RFR+GA group, compared with RFR only group ($p < 0.01$) and also increased in GA group compared with the control and RFR only group ($p < 0.05$). Prostaglandin E2 and calcitonin gene related peptide staining increased in tubules of the testes in RFR only group ($p < 0.01$) and decreased in tubules of the testes in RFR+GA group ($p < 0.01$). In RFR only group, most of the tubules contained less spermatozoa, and the spermatozoon counts decreased in tubules of the testes. All these findings and the regenerative reaction, characterized by mitotic activity, increased in seminiferous tubules cells of the testes in RFR+GA group ($p < 0.01$).	Adequate/positive
20. Bilgici et al., 2018, Wistar rats (M), 30 days	2.45 GHz, whole body average SAR 0.0233 W/kg	1 h/day (11 M exposed, 11 M controls)	Serum IL-6 and CRP levels were significantly different in in exposed animals ($p < 0.05$). Significant difference in necrosis and spermatogenesis in exposed animals ($p < 0.05$)	Adequate/positive
21. Guo et al., 2019, Sprague-Dawley rats, 1 month	220 MHz (pulsed modulated), 0.030 W/kg	1h/day, 7 days/week, 20/group	Decreased sperm count and survival rate of sperm ($p < 0.05$), increased sperm abnormalities (NS), increased expression in testes of cleaved caspase 3 ($p < 0.05$), caspase 3 ($p < 0.01$), and the BAX/BCL2 ratio ($p < 0.01$), decreased serum T level ($p < 0.05$)	Adequate/positive

Table 23 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: reproductive toxicity in male rats (450–6000 MHz) (continued c)

Reference, Strain, Species (Sex), Exposure duration	Frequency, Intensity Any other co-exposure	Exposure time, Number of animals	Observed effects	Comments
22. Yu et al., Experiment 1, 2020, Sprague-Dawley rats (M adults), 50, 100 or 150 days	smartphone emitting SRF-EMR, 2575–2635 MHz (TD-LTE), 1.05 W/kg.	6 h/day (smartphone was kept on active talk mode and received an external call for 1 min over 10min intervals for 10 cycles); 135 rats (9 groups of 15 rats each).	After 150 days of SRF-EMR exposure, sperm concentration, motility, viability, and normal morphology were comparatively lower in the SRF group than in the control group. Mating experiment in rats exposed to SRF-EMR for 150 days: the pup weight was comparatively lower in the SRF group than in the controls. Testicular morphologic injury: after 150 days, increased disorder in spermatogenesis, as well as significant germ cell loss, and decreased epithelium height were observed, together with lower epithelium height, lower Johnsen score, and higher Cosentino score. Oxidative stress in testes: After 100 days of exposure, only CAT and GSH content was found to be significantly lower in the SRF group. After 150 days, also the levels of MDA, 4-HNE and LPO were comparatively higher, while GSH, SOD and CAT content were lower in the SRF group. Apoptosis in the testes: after 100 days, only cleaved-caspase 8 was significantly upregulated in the SRF group. After 150 days, only the level of Bcl-2 was lower, while the levels of Bax, cleaved-caspase-3, Fas, FasL and cleaved-caspase-8 were significantly higher in the SRF group (p < 0.01)	Adequate/positive
Experiment 2, 2020, Sprague-Dawley rats (M adults), 150 days	smartphone emitting SRF-EMR, 2575–2635 MHz (TD-LTE), 1.05 W/kg.	6 h/day (smartphone was kept on active talk mode and received an external call for 1 min over 10min intervals, for 10 cycles); 10 to 15 rats/ group, 91 rats in total (7 groups)	Transcriptional profile changes: 1663 differentially expressed genes including 1446 up-regulated and 217 down-regulated. Spock3 level was higher in rats exposed to SRF-EMR for 150 days. Inhibition of Spock3 overexpression improved sperm quality decline and alleviated testicular injury and BTB disorder in the exposed rats. SRF-EMR exposure suppressed MMP2 activity, while increasing the activity of the MMP14–Spock3 complexes and decreasing MMP14–MMP2 complexes; these results were reversed by Spock3 inhibition (p < 0.01).	Adequate/positive

Table 24 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: : developmental toxicity in hamster in male rats (450-6000 MHz) (a)

Reference, Strain, Species (Sex), Exposure duration	Frequency, Intensity Any other co-exposure	Exposure time, Number of animals	Observed effects	Comments
23. Lerchl et al., 2008 a, b, c, Djungarian hamsters (M), 60 days	a: 383 MHz (TETRA), b: 900 and c: 1800 MHz (GSM), SAR 0.08 W/kg	24 h/day (120 M exposed; 120 M sham)	a: Pineal and serum melatonin levels as well as the weights of testes, brain, kidneys, and liver were not affected; Significant transient increase in body weight up to 4%; b: Pineal and serum melatonin levels as well as the weights of testes, brain, kidneys, and liver were not affected; Significant non transient increase in body weight up to 6%; c: Pineal and serum melatonin levels as well as the weights of testes, brain, kidneys, and liver were not affected; no effect on body weight;	Adequate/negative

Table 25 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: developmental toxicity in mice (450–6000 MHz) (a)

Reference, Strain, Species (Sex), Exposure duration	Frequency, Intensity Any other co-exposure	Exposure time, Number of animals	Observed effects	Comments
24. Finnie et al. a, b (2006), c (2009), BALB/c mice (F)	900 MHz, 4 W/kg	1h/day, 7 days/week, 10/group	Not any statistically significant alteration (NS) in: (a): blood-brain barrier permeability in the immature brain of fetal heads, (b): immediate early gene c-fos expression as a marker of neural stress (c): stress response by induction of heat shock proteins	Adequate/negative
25. Lee et al., 2009, ICR mice (F breeders; F and M fetuses), Day 1-17 of gestation	CDMA (849 MHz) and WCDMA (1.95 GHz), SAR 2.0 W/kg for 2 exposure periods (total 4 W/kg)	2 exposures 45-min/day, separated by a 15-min interval (14 F sham; 17 F CDMA-exposed; 20 F sham CDMA+WCDMA controls; 20 F CDMA+WCDMA exposed). Short daily exposure	Simultaneous experimental exposure to CDMA and WCDMA RF EMFs did not cause any observable adverse effects (mortality, growth retardation, changes in head size and other morphological abnormalities) on mouse fetuses.	Adequate/negative
26. Fragopoulou et al., 2010, Balb/c Mus musculus (F breeders; M and F offspring), 5 days before pregnancy; days 1-21 of gestation	GSM 900MHz, SAR 0.6–0.94 W/kg	0 (5 F control breeders, 7 M and F offspring) ; 6 min/day (7 F exposed, 20 M and F offspring); 30 min/day (7 F exposed, 20 M and F offspring)	Statistically significant variations in the ossification of cranial bones and thoracic cage ribs, and displacement of Meckelian cartilage, in exposed animals (both groups). Littermates examined after teeth eruption displayed normal phenotypes.	Adequate/ positive

Table 25 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: developmental toxicity in mice (450-6000 MHz) (continued b)

Reference, Strain, Species (Sex), Exposure duration	Frequency, Intensity Any other co-exposure	Exposure time, Number of animals	Observed effects	Comments
27. Sambucci et al., 2011 , C57BL/6 newborns mice (M and F), 5 consecutive weeks, starting the day after birth	Wi-Fi at 2.45 GHz, 0.08 or 4 W/kg SAR	2 h/day, 5 days/week; 16 newborns/group, each with 4 adoptive mothers assigned (48 pups in total)	No differences in body weight and development among the groups were found in mice of both sexes. For the immunological analyses, results on female and male newborn mice exposed during early post-natal life did not show any effects on all the investigated parameters ($p > 0.05$), with one exception: a reduced IFN- γ production in spleen cells from microwaves (MW)-exposed (SAR 4 W/kg) male (not in female) mice compared with sham-exposed mice ($p < 0.05$).	Adequate/negative
28. Zhang et al., 2015 , CD1 mice (M and F), in utero exposure, gestation throughout (Days 3.5–18)	9.417 GHz, SAR: 2.0 W/kg	12 h/day; 4 pregnant female mice per group. Previously, to obtain pregnancies: 12 breeding cages were set up, each containing one CD1 female mouse and two CD1 male mice, all aged 6 weeks.	Mice did not differ in motor ability by open field test (OFT); however, frequency of entries into and duration of time spent in the center zone for the treated group were lower compared to controls. Exposed mice had increased anxiety-related behavioral elevated-plus maze test (EPM), Tail suspension test (TST) and forced swimming test (FST) showed that RFR exposure significantly decreased immobility time, demonstrating that the offspring of exposed mice had decreased depression-related behavior. By Morris water maze (MWM), treated mice showed a progressive decline in escape latency. On the fourth and fifth days of MWM, only male mice in Radiation group spent more time trying to find the platform, indicating reduced spatial learning ability ($p < 0.01$).	Adequate/positive
29. Fatehi et al., 2018 , NMRI mice (M and F offspring), 30 days	900 MHz, intensity NR	Cell phone in "Standby-mode": 1, 5 and 10 h/day (group 2,3,4); cell-phone on "Active-mode": 1 h/day (group 5); 20 mice/group	Irradiated mice (at any exposure duration) had significant increases in pregnancy duration. Furthermore, when the cellphone changed from off mode to active mode, a significant delay was seen in pregnancy duration. RFR exposure leads to a significant decrease in the number of newborn mice compared to the control group. The results also demonstrated that the increase of the exposure time from 1 h per day (group 2) to 10 h per day (group 4) in the Standby mode caused a significant difference in the number of the newborns ($p < 0.05$).	Adequate/positive

Table 25 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: developmental toxicity in mice (450-6000 MHz) (continued c)

Reference, Strain, Species (Sex), Exposure duration	Frequency, Intensity Any other co-exposure	Exposure time, Number of animals	Observed effects	Comments
30. Nelson et al., 1991, 1994, 1997, 1997; Sprague-Dawley rats (F); 10, 20, 30 minutes	10 MHz (2-methoxyethanol at 20, 40, 60, 75, 80, 100, 120, 125, 140 or 150 mg/kg), 0.8-6.6 W/Kg. Thermal effects (temp. 42C°)	10, 20, 30 minutes; 10-27/group	Synergism between RFR and 2ME administration in the induction of teratogenic effects: increased incidence of external malformation of fetuses (p<0.05)	Inadequate
31. Nelson et al., 2001, Sprague-Dawley rats (F), 60 minutes	10 MHz (Methanol 2, 3 g/kg); 0.8-6.6 W/Kg Thermal effects (temp. 42C°)	60 minutes; 10/group	Increased incidence of resorbed fetuses (p<0.05). No synergistic effects.	Inadequate
32. Ogawa et al., 2009, Sprague-Dawley rats (F), 10 days	1950 MHz CDMA, 0.4 W/kg	90 min/day, 7 days/week, 20/group	Not any statistically significant alteration (NS) for: landmarks of sexual maturity, viable litter size/live birth index, neonatal growth, neonatal survival indices, sex ratio in progeny, physiologic endpoints revealing unique toxicities of pregnancy and lactation (p>0.05).	Adequate/negative
33. Sommer et al., 2009, C57BL mice (M, F), Multi-generation study	1966 MHz (UMTS), 0.08, 0.4, 1.3 W/kg	24 h/day, 7 days/week, 128 M and 256 F over four generations (1M and 2F per cage)	Not any statistically significant alteration (NS) for: viable litter size/live birth index, neonatal growth, neonatal survival indices, prenatal mortality, assessment of sperm quality, weight and morphology of reproductive organs, mating and fertility indices and reproductive outcome, landmarks of sexual maturity, sexual behavior (p<0.05)	Adequate/negative
34. Ozorak et al., 2013, Wistar albino rat offspring (and F pregnant adult), from pregnancy to 6 weeks of age	Wi-Fi (2.45 GHz) and mobile phone (900 and 1800 MHz) RFR, whole body SAR 0.1 W/kg	1 h/day, 5 days/week; 24 rats/group, 96 in total	Results from the fourth week showed that the level of lipid peroxidation in the kidney and testis and the copper, zinc, reduced glutathione (GSH), glutathione peroxidase, and total antioxidant status (TAS) values in the kidney decreased in the RFR groups, while iron concentrations in the kidney as well as vitamin A and vitamin E concentrations in the testis increased in the RFR groups. Results for fifth-week samples showed that iron, vitamin A, and β-carotene concentrations in the kidney increased in the RFR groups, while the GSH and TAS levels decreased. The sixth week results showed that iron concentrations in the kidney and the extent of lipid peroxidation in the kidney and testis increased in the RFR groups, while copper, TAS, and GSH concentrations decreased (p<0.05). There were no statistically significant differences in kidney chromium, magnesium, and manganese concentrations among the four groups (p>0.05).	Adequate/positive
35. Poulietier de Gannes et al., 2013, Wistar rats (M, F), 5 weeks F, 6 weeks M	2450 MHz (Wi-Fi signal), 0.08, 4 W/kg	1 h/day, 6 days/week, 12/group	Not any statistically significant alteration (NS) for: number of live and dead fetuses per uterine horn, number and location in each uterine horn of early and late resorption sites, distribution of implantation sites on each uterine horn (Significance: NR).	Adequate/negative

Table 26 – Reproductive/developmental effects in experimental animals: developmental toxicity in rats (450-6000 MHz) (a)

Reference, Strain, Species (Sex), Exposure duration	Frequency, Intensity Any other co-exposure	Exposure time, Number of animals	Observed effects	Comments
36. Celik et al., 2016 , Wistar albino rats (F breeders, M offspring), from gestation to 21 days of age	2.45 GHz EMR with 217 Hz pulses, SAR 0.1 W/kg	1 h/day for 5 days/week (8 F exposed breeders, 24 M exposed offspring; 8 F control breeders, 24 M control offspring)	Oxidative stress was observed in the brain and liver of developing rats, due to reduced GSH-Px, GSH and antioxidant vitamin concentrations. Moreover, the brains were more sensitive to oxidative injury compared to the liver in the development of newborns (p<0.05).	Adequate/positive
37. Shirai et al., 2016 , Sprague-Dawley rats (F adults and their offspring), Mothers: from Gestational Day 7 to weaning; F1 offspring rats from birth up to 6 weeks of age	Eight different communication signal RFR (two of 800 MHz band, two of 2 GHz band, one of 2.4 GHz band, two of 2.5 GHz band and one of 5.2 GHz band), 0.4 W/kg, each frequency contributing for 0.05 W/kg	20 h/day; mothers: 12 rats/group; 46-48 F1 pups per group.	No abnormal findings were observed in the dams or F1 offspring exposed to the RFR or to the F2 offspring for any of the parameters evaluated (p>0.05).	Adequate/negative
38. Stasinopoulou et al., 2016 , Wistar rats (F adults and their offspring). Pregnant rats throughout the pregnancy, and a group of dams and their offspring for further 22 days	1880–1900 MHz, whole body SAR ranging from 0.016 to 0.020 W/kg	12 h/day; 40 rats/group	RFR exposure caused heart rate increase in the embryos on the 17th day of pregnancy. Significant changes on the newborns' somatometric characteristics were noticed. Pyramidal cell loss and glia fibrillary acidic protein over-expression were detected in the CA4 region of the hippocampus of the 22-day old pups that were irradiated either during prenatal life or both pre- and postnatally (p>0.05).	Adequate/positive
39. Othman et al., 2017 , Albino Wistar rats, Gestation period (19–20 days)	2.45 GHz from Wi-Fi, Intensity NR (Wi-Fi: Exposed group was placed at distance of 25 cm from the Antennas. D-Link DWL-3200 AP with 802.11 g mode and WPA2 net-work protection)	2 h/day; 63 control offspring and 37 treated offspring, 5 adult pregnant exposed rats/group	In-utero WiFi exposure impaired offspring neurodevelopment during the first 17 postnatal days without altering emotional and motor behavior at adult age. Besides, prenatal WiFi exposure induced cerebral oxidative stress imbalance (increase in malondialdehyde level and hydrogen peroxide levels and decrease in catalase and superoxide dismutase activities) at 28 but not 43 days old, also the exposure affected acetylcholinesterase activity at both cerebral and seric levels (p<0.05)	Adequate/positive

Table 27 (summary tables 21-26) (a, b) – Collected data for experimental studies on reproductive/developmental effects (FR1: 450-6000 MHz)

Total studies		39								
Adequate studies		37								
Type of study	Observed effects	Mouse			Rat					
		Total adequate studies*	Positive results	Equivocal results	Negative results	Total adequate studies*	Positive results	Equivocal results	Negative results	
Reproductive- male fertility	Semen quality									
	Histopathological alterations	9	6		3	14	10	1	3	
	Fertility									
Reproductive- female fertility	Fertility									
	Gestation period	2	1	1						
	Number of pups									
Development- Female-litters	Weight of litters									
	Neuro/behavioural effects									
	Foetal growth	10	4		6	4	3		1	
	Litter haematochemical characteristics									

*Some of the studies include more than one outcome. One study (Ref. 23) was performed on Djungarian hamster, and was considered adequate/negative.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DER REPRODUKTIVEN-/ENTWICKLUNGSWIRKUNGEN IN TIERVERSUCHSSTUDIEN (FR1: 450 bis 6000 MHZ) (Tabelle 27)

Aus der vorliegenden Übersicht wurden 39 Studien über Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung bei Versuchstieren ausgewählt. 20 Studien wurden an Mäusen, 18 an Ratten und 1 an Hamstern durchgeführt. In geeigneten Studien wurden verschiedene Endpunkte sowohl bei Mäusen als auch bei Ratten untersucht. Zusammenfassungen der Ergebnisse sind in Tabelle 27 dargestellt.

Die Ergebnisse der 37 adäquaten Studien waren:

Fortpflanzung, männliche Fruchtbarkeit (Spermaqualität, histopathologische Veränderungen, Fruchtbarkeit).

Dreiundzwanzig adäquate Studien wurden durchgeführt, um mögliche nicht-thermische schädliche Auswirkungen auf die Reproduktion bei männlichen Ratten und Mäusen zu untersuchen. Bei Mäusen zeigten 6 von 6 adäquaten 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).

Der überzeugendste Beweis ist die statistisch signifikante Verschlechterung der Spermienqualität sowohl bei Ratten als auch bei Mäusen. Für dieses Ergebnis gibt es *ausreichende Hinweise* auf einen Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und der Abnahme der Spermienqualität.

Fortpflanzung, weibliche Fruchtbarkeit (Fruchtbarkeit, Trächtigkeitsdauer, Anzahl der Welpen, Gewicht der Würfe).

Nur 2 Studien an Mäusen wurden für die vorliegende Überprüfung als angemessen angesehen. Eine davon (Ref. 8) zeigte positive Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen schädlichen Wirkungen und HF-EMF-Exposition, eine andere war nicht eindeutig (Ref. 7). Die weibliche Fruchtbarkeit wurde nicht ausreichend untersucht, so dass, obwohl statistisch signifikante Effekte gefunden wurden, die Beweise *begrenzt* sind, um eine abschließende Bewertung zu ermöglichen.

Entwicklung - Muttertiere und Würfe (hämatologische Merkmale des Wurfes, neurologische und verhaltensbezogene Auswirkungen, fötales Wachstum usw.)

Vierzehn geeignete Studien wurden hinsichtlich der Entwicklungsergebnisse analysiert. Von den 14 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 von 4 geeigneten Studien 3 positiv (Ref: 36, 38, 39) und 1 negativ.

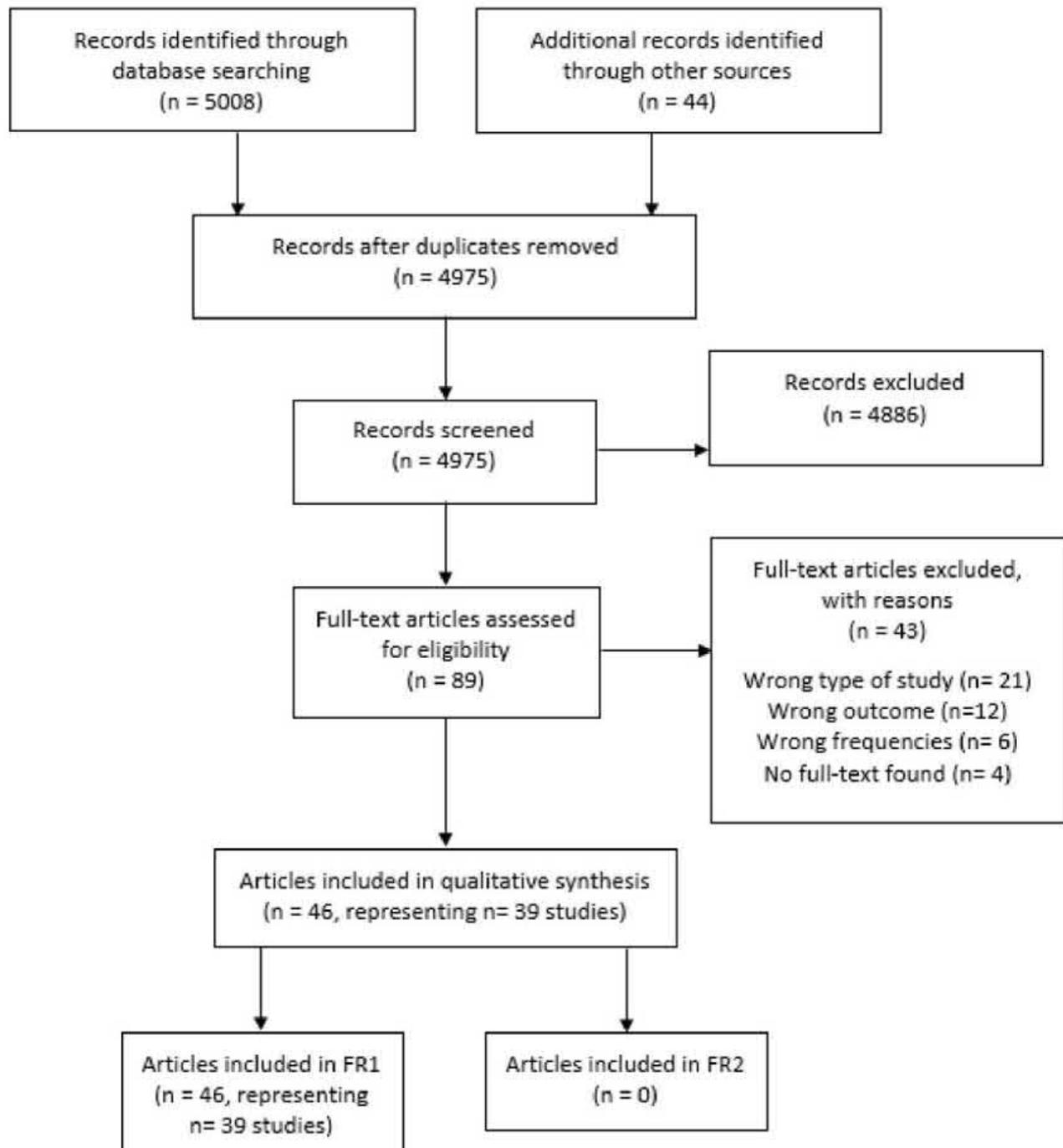
Die Ergebnisse zu diesem Endpunkt sind gemischt (widersprüchlich) und die Beweise für einen möglichen Zusammenhang zwischen schädlichen Auswirkungen auf die Entwicklung und der Exposition gegenüber HF-EMF sind *begrenzt*.

4.2.4 Auswirkungen auf die Reproduktion/Entwicklung bei Versuchstieren: Studien zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF in einem höheren Frequenzbereich (FR2: 24 bis 100 GHz, MMW).

Bei der Suche in Datenbanken und anderen Quellen wurden 5052 Artikel gefunden. Nach der Entfernung von Duplikaten (77) und dem Ausschluss nicht relevanter Artikel (4886) auf der Grundlage des Titels und der Zusammenfassungen verblieben 89 Artikel. Auf der Grundlage eines Volltextscreenings wurden 43 weitere Artikel ausgeschlossen, so dass die veröffentlichten Artikel mit einer für die Einbeziehung in diese qualitative Synthese geeigneten Häufigkeit 46 betragen, was 39 Studien entspricht. In drei Fällen wurde mehr als ein Artikel veröffentlicht, der Informationen über dieselbe Studie für verschiedene Endpunkte der Fortpflanzung/Entwicklung enthielt (Abb. 16).

In diesem Stadium wurde auch eine Auswahl auf der Grundlage des Häufigkeitsbereichs vorgenommen: Von den 46 Artikeln/39 Studien berichteten alle über Expositionen im FR1-Bereich und keine im FR2-Bereich.

Figure 16 – Flow diagram. Reproductive/developmental effects in experimental animals (FR2)



5. Diskussion

In ihrer letzten Veröffentlichung erklärt die ICNIRP, dass: "(...) *gemeldete schädliche Wirkungen 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 "Beweis" angesehen und für die Festlegung von Expositionsbeschränkungen verwendet werden zu können. In den Leitlinien wird der Begriff "Beweis" in diesem Zusammenhang verwendet, und der Begriff "belegte Wirkung" wird verwendet, um berichtete Wirkungen zu beschreiben, die diese Definition von Beweis erfüllen. Der Rückgriff auf solche Nachweise bei der Bestimmung gesundheitsschädlicher Wirkungen soll sicherstellen, dass die Expositionsbeschränkungen auf echten Wirkungen und nicht auf unbewiesenen Behauptungen beruhen (...)*" (ICNIRP, 2020a).

Sowohl beim Menschen als auch bei Tiermodellen wurden Wirkungen beobachtet, die die ICNIRP als "*ungestützte Behauptungen*" definiert; und einige von ihnen stellen "*belegte Wirkungen*" dar, d. h. objektive und relevante Beobachtungen aus epidemiologischen und experimentellen Studien, einschließlich solcher zu Krebs und schädlichen Wirkungen auf Reproduktion und Entwicklung.

Epidemiologische Studien können, wenn sie mit angemessenen Informationen über die Expositionsszenarien und einer korrekten Methodik durchgeführt werden, starke Beweise für "gesicherte Auswirkungen" eines Agens, Faktors oder einer Situation liefern. Epidemiologische Studien weisen jedoch häufig mehrere Einschränkungen auf, die sich aus der geringen Stichprobengröße, der geringen statistischen Aussagekraft und den Störfaktoren ergeben. Zu diesen Einschränkungen gehören: i) Kleine Expositions- oder Follow-up-Populationen, die möglicherweise nicht ausreichen, um eine angemessene statistische Aussagekraft zu erzielen; ii) Art, Umfang und Zeitpunkt der Exposition gegenüber dem gefährlichen Agens können zu Fehlklassifizierungen der Exposition und zu falsch negativen Ergebnissen führen; iii) Eindeutige Ergebnisse aufgrund von Störfaktoren können schwer abzuleiten sein; iv) Methodische Faktoren, wie z. B. Recall Bias oder Publication Bias, können ebenfalls eindeutige Ergebnisse verhindern; v) Die inhärente Verzögerung bei der Ermittlung robuster epidemiologischer Ergebnisse aufgrund der langen Tumoraltenzzeit beim Menschen (d.h. von der ersten Exposition bis zur Tumorerkennung), die im Durchschnitt 10-40 Jahre betragen kann; iv) weit verbreitete und diffuse Exposition gegenüber anderen gefährlichen Stoffen, die in Kombination mit dem untersuchten Stoff synergistische oder schützende Wirkungen haben können; vii) Die weit verbreitete Exposition gegenüber EMF führt zu Schwierigkeiten bei der Suche nach einer ausreichend großen, nicht exponierten Kontrollgruppe, was dann die Verwendung von Gruppen mit der geringsten Exposition als Vergleichskontrollen erforderlich machen kann, die weniger robust sein können.

Die Hauptrichtung der Verzerrung, die sich aus vielen dieser methodischen und anderen Einschränkungen von Humanstudien ergibt, neigt dazu, "falsch-negative" Ergebnisse zu produzieren, d.h. Ergebnisse, die den Wirkstoff von seiner Schädlichkeit entlasten, die sich aber später als falsch herausstellen (Grandjean, 2013).

Während in Studien an Versuchstieren ausreichende Beweise für die Karzinogenität von HF-EMF beobachtet wurden, legen die folgenden Gründe nahe, dass die Ergebnisse für die Risikobewertung beim Menschen wichtig/relevant sind. Tierstudien (Bioassays) haben nur wenige Einschränkungen und können daher, wenn sie nach den empfohlenen hohen Standards (OECD, 2018b) durchgeführt werden, im Vergleich zu Humanstudien relativ schnell und robuste Beweise für den Zusammenhang zwischen der Exposition und dem spezifischen Ergebnis liefern.

Da sich die Latenzzeit proportional zur durchschnittlichen Lebensdauer eines Organismus verhält, ist die Latenzzeit bei den üblicherweise in den Laboren verwendeten Nagetieren verhältnismäßig kürzer. Eine Latenzzeit von einem Jahr bei Ratten entspricht einer Latenzzeit von etwas mehr als 30 Jahren beim Menschen, so dass Tier-Bioassays, selbst über die volle Lebenszeit von Ratten von etwa 2,5 Jahren, im Vergleich zu Studien am Menschen eine Krebserkennung innerhalb einer relativ kurzen Zeit ermöglichen.

Bioassays an Tieren können daher wichtige Informationen über das Krebsrisiko beim Menschen aufgrund der Exposition gegenüber verschiedenen Stoffen liefern. Diese Daten können unser Vertrauen in die Erkenntnisse über Krebsrisiken beim Menschen aus epidemiologischen Daten stärken.

Viele für den Menschen krebserregende Stoffe wurden zuerst in angemessenen Labortierversuchen zuverlässig identifiziert, oft viele Jahre bevor der Nachweis beim Menschen erbracht wurde (Huff, 1999; Huff, 2013; Maronpot et al., 2004).

Es kann auch übereinstimmende Beweise zwischen gut durchgeführten (OECD, 2016) Tier- und Humanstudien über schädliche Auswirkungen auf die Fortpflanzung und Entwicklung geben.

Die Bedeutung experimenteller Bioassays für den Schutz der menschlichen Gesundheit geht auch aus den Risikobewertungen für Chemikalien hervor, die auf gut durchgeführten Tierstudien basieren. So werden Tierstudien verwendet, um die niedrigste beobachtete schädliche Wirkung (Lowest-Observed-Adverse-Effect Level - LOAEL) zu ermitteln, d. h. die niedrigste Konzentration des chemischen Stoffes; oder manchmal auch das No-Observed-Adverse-Effect Level (NOAEL), das eine schädliche Veränderung der Morphologie, der Funktionsfähigkeit, des Wachstums, der Entwicklung oder der Lebensdauer des Zielorganismus verursacht, die sich von nicht exponierten Tieren/Organismen derselben Art und desselben Stammes unter denselben Expositionsbedingungen unterscheidet (Gaylor, 1999).

Bei HF-EMF haben die Ergebnisse epidemiologischer Studien bisher nur "begrenzte Beweise" für einen Zusammenhang mit Krebs geliefert, vor allem aufgrund der oben genannten Einschränkungen epidemiologischer Studien und des Fehlens einer ausreichenden unabhängigen Finanzierung solcher Forschung.

In Studien an Labortieren, 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 den Veröffentlichungen des US-amerikanischen NTP und des Ramazzini-Instituts 2018/19 jedoch solider als 2011 und erreicht nun eine "ausreichende" Evidenz bei Tieren gemäß der IARC-Evaluierung (IARC, 2019).

5.1 Krebs und niedrige Telekommunikationsfrequenzen (FR1: 450 bis 6000 MHz)

Im Jahr 2011 stufte die Arbeitsgruppe der IARC angesichts der begrenzten Nachweise 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 viele neue Studien veröffentlicht worden und eine Aktualisierung ist notwendig. Eine Beratergruppe von 29 Wissenschaftlern aus 18 Ländern traf sich im März 2019 bei der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC), um Prioritäten für das IARC-Monographieprogramm für den Zeitraum 2020-2024 zu empfehlen, darunter auch HF-EMF (IARC, 2019).

5.1.1 HF-EMF (FR 1: 450 bis 6000 MHz) und Krebs beim Menschen

Unsere Überprüfung der Literatur bis 2020 hat ergeben, dass seit der Veröffentlichung der IARC-Monographie 102 (IARC, 2013) mehrere neue epidemiologische Studien über den Zusammenhang zwischen HF-EMF und Krebs veröffentlicht wurden, wobei die Beweise jedoch gemischt bleiben (widersprüchliche Ergebnisse). In der Kohorte der Million Women Study gab es keine Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für Gliome oder Meningiome. Es gab ein erhöhtes Risiko für Schwannome des Vestibularapparats (Neurinome des Hörnervs) bei Langzeitnutzung und eine signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehung (Benson et al., 2013).

Eine aktualisierte Nachbeobachtung in der landesweiten dänischen Handvertragskunden-Studie ergab kein erhöhtes Risiko für Gliome, Meningiome oder vestibuläre Schwannome, auch nicht bei denjenigen, die 10 Jahre oder länger einen Handyvertrag hatten (Frei et al., 2011; Schüz et al., 2011).

Neue Berichte aus Fall-Kontroll-Studien, die die Langzeitnutzung untersuchten, kamen ebenfalls zu gemischten Ergebnissen; so berichteten Hardell und Carlberg, (2015) und Hardell et al., (2013 a, b) über ein erhöhtes Risiko für Gliome und Akustikusneurinome, jedoch haben Yoon et al., (2015) und Petterson et al., (2014) keine Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für diese Tumore gefunden.

Mehrere groß angelegte Studien sind noch im Gange und dürften in den nächsten Jahren Ergebnisse liefern. Mobi-Kids ist eine multizentrische Fall-Kontroll-Studie über Hirntumore in der Altersgruppe der 10- bis 24-Jährigen. Die Cohort Study of Mobile Phone Use and Health (COSMOS) ist eine neue europäische Kohorte erwachsener Handynutzer. Außerdem werden aktualisierte Ergebnisse aus der Million Women Study (IARC, 2019) vorliegen.

Einige Autoren stellen fest, dass das in verschiedenen epidemiologischen Studien nachgewiesene erhöhte Risiko für Hirntumore und Neurinome nicht die beobachteten zeitlichen Inzidenztrends widerspiegelt, die als aussagekräftig für dieses spezifische Thema gelten. Dies konnten wir in der neueren Literatur nicht feststellen.

Was bösartige Tumore des Zentralnervensystems (ZNS) betrifft, so berichtet die Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors (GBD)-Studie 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 1990 und 2016 entspricht. Die drei Länder mit der höchsten Zahl an Neuerkrankungen waren China, die USA und Indien.

Ein Anstieg der Inzidenz von 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 registergestützte Studie in Schweden (Hardell und Carlberg, 2017) zeigte steigende Raten von Tumoren unbekanntem Typs im Gehirn mit einer höheren Rate zwischen 2007 und 2015 bei beiden Geschlechtern (Abb. 17 und 18).

Figure 17 – The Swedish National Inpatients Registry (source: Hardell and Carlberg, 2017): men
Joinpoint regression analysis of number of patients per 100,000 inhabitants according to the Swedish National Inpatient Register for men, all ages during 1998–2015 diagnosed with D43 = tumour of unknown type in the brain or CNS (<http://www.socialstyrelsen.se/statistik/statistikdatabas/diagnoserislutenvard>).

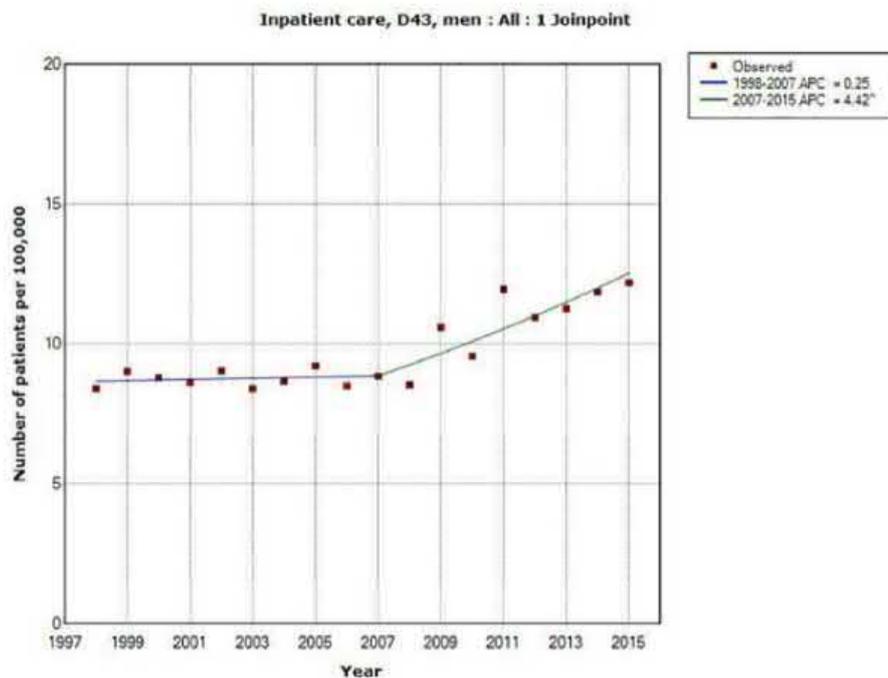
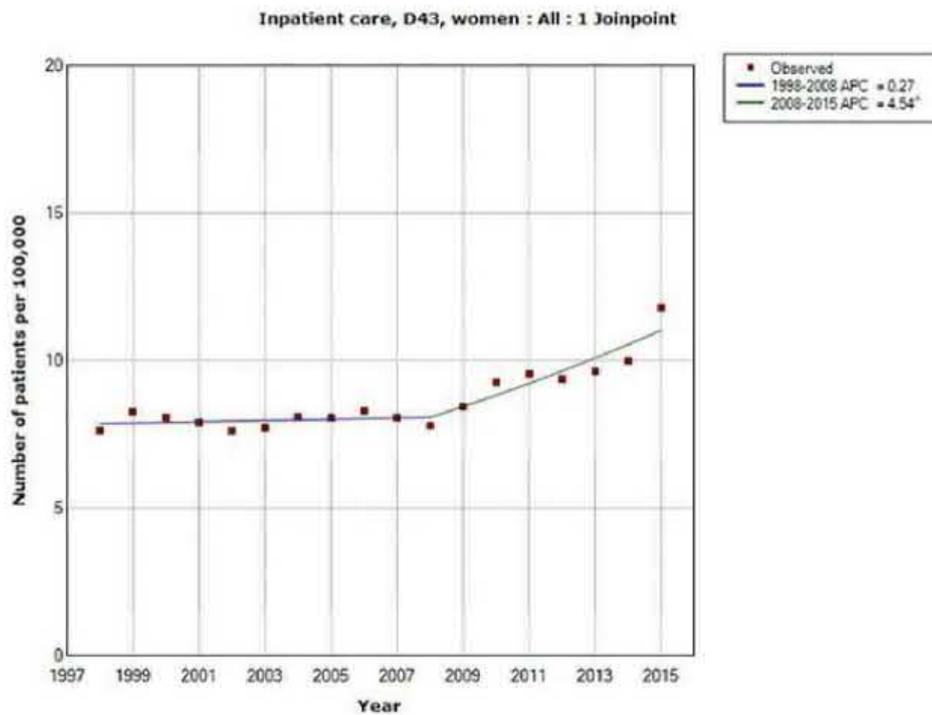


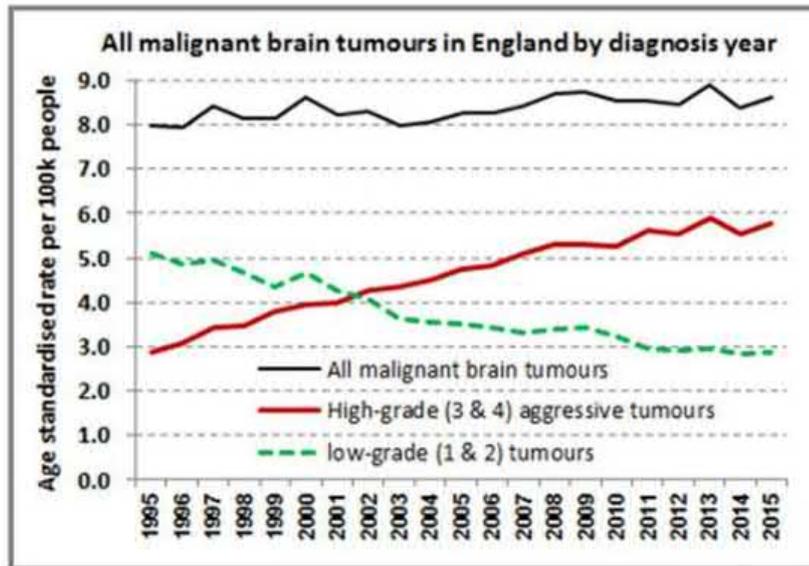
Figure 18 – The Swedish Nnl. Inpatients Registry (source: Hardell and Carlberg, 2017): women
 Joinpoint regression analysis of number of patients per 100,000 inhabitants according to the Swedish National Inpatient Register for women, all ages during 1998–2015 diagnosed with D43 = tumour of unknown type in the brain or CNS.
 (<http://www.socialstyrelsen.se/statistik/statistikdatabas/diagnoserislutenvard>).



Darüber hinaus berichtet 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 Glioblastomen (bösartige Tumore des Gehirns), die histologisch bestätigt wurden. Zwischen 1990 und 2018 hat die Zahl der jährlichen Neuerkrankungen sowohl bei Männern als auch bei Frauen zugenommen: Dies ist im Wesentlichen auf die Zunahme der mit dieser Krebsart verbundenen Risiken (Umwelt, Beruf) zurückzuführen (ANSES, 2019).

In einer britischen Studie über nationale Inzidenzdaten zu bösartigen Hirntumoren wurde ein Anstieg der Raten des aggressiveren Typs festgestellt, der in den epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien identifiziert wurde (Abb. 19). Die Autoren untersuchten die Inzidenz von Hirntumoren in drei "großen Krebsregistern" über einen Zeitraum von 15 Jahren (1992-2006). Die Studie ergab, dass "die Raten primärer Hirntumoren in allen Bereichen zurückgingen, mit der bemerkenswerten Ausnahme einer erhöhten Inzidenz von Glioblastoma multiforme (GBM) in den Frontal- und Temporallappen sowie im Kleinhirn. Der Anstieg der GBM im Schläfenlappen (der Region des Gehirns, die dem Ohr und möglicherweise einem Telefon am nächsten liegt) wurde in allen drei Registern beobachtet und lag zwischen etwa 1,3 % und 2,3 % pro Jahr, ein statistisch signifikantes Ergebnis (Philips et al., 2018).

Figure 19 – Trends in the incidence of of all malignant brain tumours in England
(Philips et al., 2018)



<http://www.saferemr.com/2018/03/brain-tumor-incidence-trends.html>

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in Bezug auf unsere Forschung zu FR1 in der Literatur positive, begrenzte Zusammenhänge zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF von Mobiltelefonen und Gliomen und Akustikusneuromen beim Menschen beobachtet wurden.

5.1.2 HF-EMF (FR1: 450 bis 6000 MHz) und Krebs bei Versuchstieren.

Seit der letzten Bewertung der IARC-Monographie im Jahr 2011 wurden neue Daten zur Exposition von Versuchstieren gegenüber HF-EMF (FR1) veröffentlicht (IARC, 2013).

Die große Studie des National Toxicology Program (NTP) der Vereinigten Staaten fand ein erhöhtes Risiko für bösartige Schwannome des Herzens bei männlichen Ratten mit hoher Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung bei den von Mobiltelefonen verwendeten Frequenzen, ein mögliches erhöhtes Risiko für bestimmte Arten von Tumoren im Gehirn und in den Nebennieren sowie ein unbestimmtes erhöhtes Risiko bei Mäusen oder weiblichen Ratten (NTP, 2018a, b).

Die Studie des Ramazzini-Instituts (RI) fand außerdem einen statistisch signifikanten Anstieg von Schwannomen des Herzens bei hoch exponierten (50 V/m) männlichen Ratten und einen Anstieg von Gliomen bei weiblichen Ratten (Falcioni et al., 2018). In der Studie von Lee et al. (2011) mit $E\mu$ -pim1-transgenen Mäusen, die anfällig für die Entwicklung von Lymphomen sind, wurde keine Zunahme der Tumorzinzidenz beobachtet. In einer Doktorandenstudie fanden Lerchl et al. (2015) heraus, dass Tumore der Lunge und der Leber bei exponierten Tieren signifikant häufiger auftraten als bei schein-exponierten Kontrollen. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass Lymphome durch die Exposition signifikant zunahmten, was auf eine fördernde Wirkung von HF-EMF hindeutet.

Die 30 Millionen Dollar teure NTP-Studie umfasste sowohl Mäuse als auch Ratten. Ihre Durchführung dauerte mehr als 10 Jahre und ist eine der bisher umfassendsten Bewertungen der gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF-exponierten Tieren, Mäusen und Ratten. Die FDA forderte diese Untersuchung 1999 an.

In dieser Studie fand das NTP bei GSM-exponierten Mäusen Hauttumore und Lungentumore bei männlichen Tieren und bösartige Lymphome bei weiblichen Tieren. Bei CDMA-exponierten Mäusen wurde eine Zunahme von Leber-Hepatoblastomen bei männlichen und bösartigen Lymphomen bei weiblichen Tieren festgestellt. Die Ergebnisse wurden als zweideutig eingestuft (eine geringe Zunahme von Neoplasmen, die möglicherweise mit der Prüfsubstanz zusammenhängen, obwohl die Zunahme der Tumore statistisch signifikant war).

Die Langzeitstudie an Ratten (NTP, 2018a) ergab, dass die Exposition gegenüber hohen Werten von HF-EMF, wie sie in 2G- und 3G-Mobiltelefonen verwendet werden, im Zusammenhang standen mit:

- Deutlicher Nachweis von Tumoren in den Herzen männlicher Ratten (bösartige Schwannome).
- Einige Anzeichen von Tumoren in den Gehirnen männlicher Ratten (bösartige Gliome).
- Einige Hinweise auf Tumore in den Nebennieren männlicher Ratten (Phäochromozytome).

Ein Sachverständigengremium kam zu dem Schluss, dass die NTP-Studien gut konzipiert waren und dass die Ergebnisse zeigten, dass sowohl GSM- als auch CDMA-modulierte Funkfrequenzen karzinogen für das Herz (Schwannome) und das Gehirn (Gliome) männlicher Ratten sind (Endgültige Bewertung: *Eindeutige Hinweise auf Karzinogenität*) (NTP, 2018c).

Das RI (Ramazzini-Institut) in Italien führte eine lebenslange Karzinogenitätsstudie an Sprague-Dawley-Ratten durch, um die karzinogenen Wirkungen von HF-EMF im Fernfeld zu bewerten, wobei die Umweltexposition durch HF-EMF, die von 1,8-GHz-GSM-Antennen an Mobilfunk-Basisstationen erzeugt werden, reproduziert wurde. Dies ist die größte Langzeitstudie, die jemals an Ratten zu den gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF durchgeführt wurde und an der 2 448 Tiere teilnahmen. Die Autoren berichteten über die Endergebnisse in Bezug auf Hirn- und Herztumore, die dieselbe Beobachtung wie die NTP-Studie an Ratten bestätigten und verstärkten: eine statistisch signifikante Zunahme von Schwannomen am Herzen bei männlichen Tieren und eine Zunahme von glialen bösartigen Tumoren bei weiblichen Tieren.

Die jüngsten NTP- und RI-HF-EMF-Studien zeigten ähnliche Ergebnisse bei Herzschnannomen und Hirngliomen, was die gegenseitigen Ergebnisse verstärkt. Sowohl die NTP- als auch die RI-Studien wurden gut durchgeführt, ohne dass die Ergebnisse durch Verzerrungen beeinträchtigt wurden. Sowohl bei den NTP- als auch bei den RI-Experimenten wurde eine Verblindung gemäß den jeweiligen Standardarbeitsanweisungen (SOPs) oder Spezifikationen vorgenommen. Es ist durchaus üblich, dass Mäuse und Ratten in der Karzinogenese unterschiedlich reagieren, und geschlechtsspezifische Unterschiede in der Reaktion auf Karzinogene sind sowohl bei Versuchstieren als auch bei Menschen üblich. Schwannome sind Tumore, die aus den Schwann-Zellen entstehen, das sind periphere Gliazellen, die die Oberfläche aller im Körper verteilten Nerven bedecken und schützen; so haben Schwannome des Vestibularnervs (Hörnerv) und des Herzens das gleiche Ursprungsgewebe. Bei Ratten ist die Zunahme bösartiger Herzschnannome, bösartiger Glia-Tumore des Gehirns und der Schwann-Zell-Hyperplasie (einer prä-malignen Läsion) selten. Diese Läsionen wurden jedoch bei exponierten Tieren in zwei unabhängigen Labors in einem breiten Spektrum von untersuchten HF-EMF-Expositionen beobachtet. Folglich können die Ergebnisse der beiden Laboratorien nicht als "zufällig" interpretiert werden. Die NTP- und die RI-Studie zeigen, dass die Annahme, dass HF-Strahlung keine anderen gesundheitlichen Auswirkungen als die Erwärmung von Gewebe verursachen kann, wissenschaftlich nicht begründet ist.

Es ist bemerkenswert, dass sowohl das NTP als auch das RI in den letzten 40 Jahren mit ihren Ergebnissen wesentlich zur Risikobewertung verschiedener chemischer und physikalischer Stoffe beigetragen haben. Ihre Ergebnisse waren oft vorhersagend für die menschliche Gesundheit. Das NTP ist das größte Toxikologieprogramm der Welt; was die Anzahl der untersuchten Stoffe angeht, steht das RI nach dem NTP an zweiter Stelle. Die zweijährigen Karzinogenitätsstudien des NTP und des RI und ihre Veröffentlichungen 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 an den Tag legen, auch als "Goldstandard" für Krebsstudien.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei FR1-exponierten Versuchstieren positive Zusammenhänge mit ausreichender Evidenz zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und Gliomen und Neuromen (gleichbedeutend 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 sehr wenige Studien zu Frequenzen zwischen 24 und 100 GHz (FR2) durchgeführt. Die meisten von ihnen betrafen die berufliche Exposition von Arbeitnehmern in der Radartelekkommunikation. Die Exposition wurde selbst angegeben oder mit der Berufsbezeichnung in Verbindung gebracht und basierte auf der Entfernung zur Quelle der HF-Emissionen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es zwar schwache Hinweise auf ein mögliches erhöhtes Risiko für Hirntumore, Lymphome und Leukämien bei beruflich exponierten Arbeitnehmern gibt.

Fehlklassifizierung der Exposition und unzureichende Berücksichtigung möglicher Störfaktoren schränken die Interpretation der Ergebnisse ein. In der IARC-Monographie 102 lautete die Schlussfolgerung:

Tumore des Gehirns: "Eine falsche Klassifizierung der Exposition und eine unzureichende Berücksichtigung möglicher Störfaktoren schränken die Interpretation der Ergebnisse ein. Daher gibt es keinen klaren Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition gegenüber HF-Strahlung und dem Risiko von Hirntumoren" (IARC, 2013).

"Leukämie/Lymphom: Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es zwar schwache Hinweise auf ein mögliches erhöhtes Leukämie- oder Lymphom-Risiko im Zusammenhang mit beruflicher Exposition gegenüber HF-Strahlung gab, aber die begrenzte Expositionsabschätzung und mögliche Verwechslungen machen diese Ergebnisse schwer zu interpretieren" (IARC, 2013).

Andere Tumorarten erwiesen sich als potenziell mit der Exposition gegenüber hohen Frequenzen assoziiert (Aderhautmelanom, Hoden-, Brust-, Lungen- und Hautkrebs), aber viele der Studien wiesen methodische Einschränkungen auf und die Ergebnisse waren inkonsistent (IARC, 2013).

Die vorliegende Überprüfung bestätigt die IARC-Bemerkungen, dass es für die höchste 5G-Frequenz (FR2) keine angemessenen epidemiologischen Studien gibt, auf deren Grundlage die Auswirkungen auf die Gesundheit bewertet werden können.

5.2.2 HF-EMF (FR2: 24 bis 100 GHz) und Krebs bei Versuchstieren

Sechundsiebzig Studien wurden 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) gefunden.

5.3 Schädliche Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung und niedrigere Telekommunikationsfrequenzen (FR1: 450 bis 6000 MHz)

5.3.1 HF-EMF (450 bis 6000 MHz) und schädliche Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung beim Menschen.

Etwa 2800 Studien in diesem Review entsprachen den vorgegebenen Einschlusskriterien. Zusätzliche Datensätze, die durch überprüfte Artikel identifiziert wurden, ergaben einige weitere in Frage kommende Artikel. Es wurden jedoch nur insgesamt 40 Artikel für die Datenextraktion verwendet, und 26 epidemiologische Studien wurden als methodisch angemessen bewertet. Die Ergebnisse der Überprüfung sind in Tabelle 18 dargestellt.

◆ Männliche Fruchtbarkeit

In den letzten Jahren ist ein allgemeiner Anstieg der männlichen Unfruchtbarkeit zu beobachten. Dies wird auf eine Reihe von Umwelt-, Gesundheits- und Lebensstilfaktoren zurückgeführt.

Spermienzahl, Motilität, DNA-Integrität, Lebensfähigkeit und Morphologie der Spermien waren die am meisten beeinträchtigten Parameter, wenn Männer HF-EMF ausgesetzt waren.

FR1 (450 bis 6000 MHz): Es gibt ausreichende Beweise für einen Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und schädlichen Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit beim Mann.

◆ Exposition schwangerer Frauen

Fehlgeburten und Frühgeburten bei Frauen, die während der Schwangerschaft intensiv Mobiltelefone benutzen, wurden als möglicher Zusammenhang mit der Exposition des Embryos/Fötus während der Schwangerschaft beschrieben; die Anzahl der Studien ist zu gering und die Expositionsabschätzung unzureichend, um endgültige Schlussfolgerungen zu ziehen. Ein Zusammenhang kann weder ausgeschlossen noch bestätigt werden.

FR1 (450 bis 6000 MHz): Es gibt begrenzte Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und schädlichen Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit von Frauen.

◆ **Entwicklungseffekte bei Nachkommen**

Bei Nachkommen wurden Verhaltensschwierigkeiten 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 bis 6000 MHz): Es gibt begrenzte Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit der Nachkommen.

5.3.2 HF-EMF (450 bis 6000 MHz) und schädliche Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung bei Versuchstieren.

Ein wichtiger Aspekt der Sicherheitsbewertung von chemischen und physikalischen Stoffen ist die Bestimmung ihrer potenziellen Reproduktions- und Entwicklungstoxizität. In einer Reihe von Richtlinien wurde eine Reihe von separaten Studien zur Reproduktions- und Entwicklungstoxizität von der Befruchtung bis zum Erwachsenenalter und in einigen Fällen bis zur zweiten Generation beschrieben.

Die OECD-Prüfrichtlinie 443 soll eine Bewertung der Reproduktions- und Entwicklungseffekte ermöglichen, die infolge einer prä- und postnatalen Chemikalienexposition auftreten können, sowie eine Bewertung der systemischen Toxizität bei trächtigen und säugenden Weibchen und jungen und erwachsenen Nachkommen. Diese Prüfrichtlinie dient der Bewertung der Auswirkungen auf die Fortpflanzung und Entwicklung, die infolge einer prä- und postnatalen Chemikalienexposition auftreten können, sowie der Bewertung der systemischen Toxizität bei trächtigen und säugenden Weibchen sowie bei jungen und erwachsenen Nachkommen.

Die erweiterte Ein-Generationen-Studie zur Reproduktionstoxizität (Extended One-Generation Reproductive Toxicity Study, EOGRTS) ist der jüngste und umfassendste Leitfaden in dieser Reihe. EOGRTS bestimmt die Toxizität während der Empfängnis, der Entwicklung des Embryos/Fötus und des Neugeborenen, der Jugend und des Erwachsenenalters, mit besonderem Schwerpunkt auf dem Nerven-, Immun- und endokrinen System.

Ziel der Studie zur pränatalen Entwicklungstoxizität ist es, allgemeine Informationen über die Auswirkungen der pränatalen Exposition auf das trächtige Versuchstier und den sich entwickelnden Organismus zu erhalten. Genauer gesagt zielt die Studie zur Entwicklungstoxizität darauf ab, direkte und indirekte Auswirkungen auf die embryonale und fötale Entwicklung zu ermitteln, die sich aus der Exposition gegenüber dem Wirkstoff ergeben; jegliche maternale Toxizität zu identifizieren; die Beziehung zwischen den beobachteten Reaktionen und der Dosis sowohl beim Muttertier als auch bei den Nachkommen herzustellen; NOAELs (keine beobachteten negativen Auswirkungen auf die maternale Toxizität und die Entwicklung der Welpen) festzulegen.

Wir wählten und analysierten Tierstudien unter Berücksichtigung ihrer Übereinstimmung mit den genannten Leitlinien, wobei unser Ansatz tendenziell inklusiv war, wenn die Anzahl der Tiere, die Expositionsbewertung und das Verfahren als akzeptabel angesehen wurden.

Tabelle 27 fasst die Ergebnisse zusammen. 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 verringerten Testosteronspiegel, vermehrte apoptotische Zellen und eine erhöhte Produktion von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS).

Bei allen anderen Parametern waren die Ergebnisse begrenzt und lassen keine abschließende Bewertung zu.

◆ **Männliche Fruchtbarkeit**

In Bezug auf die HF-EMF-Exposition waren die Spermienzahl, Motilität, DNA-Integrität, Spermien-Lebensfähigkeit und -Morphologie die am meisten beeinträchtigten Parameter, wenn Versuchstiere bei HF-EMF exponiert wurden.

FR1 (450 bis 6000 MHz): Es gibt ausreichende Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und einer Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit bei männlichen Versuchstieren.

◆ **Weibliche Fruchtbarkeit**

Die Anzahl der Studien ist zu gering, um endgültige Schlussfolgerungen zu ziehen. Die beiden untersuchten adäquaten Studien zeigen nachteilige Wirkungen, aber ein Zusammenhang kann weder gelehnet noch bestätigt werden.

FR1 (450 bis 6000 MHz): Es gibt begrenzte Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und nachteiligen Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit bei weiblichen Versuchstieren.

◆ **Auswirkungen auf die Entwicklung der Nachkommenschaft**

Bei den Nachkommen wurden die Dauer der Trächtigkeit, das Wachstum des Fötus, die Eigenschaften des Wurfes und die Auswirkungen auf das Neuroverhalten durch experimentelle Bioassays an Nagetieren untersucht. Einige Studien waren positiv, aber die Ergebnisse sind oft widersprüchlich bei verschiedenen Studien und es wurden Einschränkungen bei der Expositionsbeurteilung festgestellt. Die Ergebnisse waren also nicht schlüssig. Ein Zusammenhang kann weder gelehnet noch bestätigt werden.

FR1 (450 bis 6000 MHz): Es gibt begrenzte Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und schädlichen Auswirkungen auf Entwicklungsparameter sowohl bei Muttertieren als auch bei Nachkommen.

5.4 Schädliche Auswirkungen auf die Reproduktion/Entwicklung und höhere Telekommunikationsfrequenzen (FR2: 24 bis 100 GHz)

5.4.1 Nachteilige Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung beim Menschen (FR2: 24 bis 100 GHz)

Die wenigen verfügbaren epidemiologischen Studien, die wir analysiert haben, wurden an beruflich exponierten Männern durchgeführt (Tabelle 20). Es wurde über nachteilige Auswirkungen auf die Spermienfruchtbarkeit berichtet. Die beiden verfügbaren Querschnittsstudien haben jedoch die Einschränkung, dass die Exposition selbst angegeben oder anhand der Berufsbezeichnung bewertet wurde. Ein Zusammenhang kann weder gelehnet noch bestätigt werden. Unsere Recherchen ergaben, dass schädliche Auswirkungen auf die Entwicklung bei diesen höheren Frequenzen in der menschlichen Bevölkerung nicht ausreichend untersucht wurden.

FR2 (24 bis 100 GHz): Zu diesem Band höherer Frequenzen wurden keine angemessenen Studien durchgeführt.

5.4.2 Schädliche Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung in Tierversuchen (FR2: 24 bis 100 GHz)

In den wenigen Studien, die für die höheren Frequenzen durchgeführt wurden, wurden nur thermische schädliche Wirkungen angemessen untersucht.

FR2 (24 bis 100 GHz): Für dieses höhere Frequenz-Band wurden keine angemessenen Studien durchgeführt.

6. Schlussfolgerungen

6.1 Telekommunikationsfrequenzen FR1 450 MHz - 6000 MHz

6.1.1 Krebs beim Menschen

Es gibt nur begrenzte Beweise für die Karzinogenität hochfrequenter Strahlung beim Menschen. Seit 2011 wurden erneut positive Zusammenhänge zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung von Mobiltelefonen und Gliomen und Akustikusneurinomen beobachtet, aber die Beweise sind noch nicht stark genug, um einen direkten Zusammenhang herzustellen.

6.1.2 Krebs bei Versuchstieren

Es gibt ausreichende Beweise für die Karzinogenität von hochfrequenter Strahlung bei Versuchstieren.

6.1.3 Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung beim Menschen

Es gibt ausreichende Hinweise auf schädliche Wirkungen auf die Fruchtbarkeit von Männern. Es gibt begrenzte Hinweise auf schädliche Wirkungen auf die Fruchtbarkeit von Frauen. Es gibt begrenzte Hinweise auf Auswirkungen auf die Entwicklung der Kinder von Müttern, die während der Schwangerschaft Mobiltelefone stark genutzt haben.

6.1.4 Auswirkungen auf die Fortpflanzung/Entwicklung bei Versuchstieren

Es gibt ausreichende Hinweise auf schädliche Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit von männlichen Ratten und Mäusen. Es gibt begrenzte Hinweise auf schädliche Wirkungen auf die Fruchtbarkeit weiblicher Mäuse. Es gibt begrenzte Hinweise auf schädliche Wirkungen auf die Entwicklung der Nachkommen von Ratten und Mäusen, die während der Embryonalzeit exponiert wurden.

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 Daten verfügbar.

6.2.3 Reproduktions-/Entwicklungsstörungen beim Menschen

Keine Daten verfügbar.

6.2.4 Reproduktions-/Entwicklungsstörungen bei Versuchstieren

Es liegen keine Daten vor.

6.3 Gesamtbewertung

6.3.1 Krebs

FR1 (450 bis 6000 MHz): Als Synthese dessen, was wir in der verfügbaren wissenschaftlichen Literatur, sowohl in Studien an Menschen als auch an Tieren, analysieren konnten, können wir sagen, dass die Exposition gegenüber HF-EMF bei FR1-Frequenzen wahrscheinlich Krebs und insbesondere Gliome und Akustikusneurinome beim Menschen verursacht.

FR2 (24 bis 100 GHz): Es wurden keine angemessenen Studien zu den nichtthermischen Wirkungen der höheren Frequenzen durchgeführt.

6.3.2 Auswirkungen auf die Reproduktion und Entwicklung

FR1 (450 bis 6000 MHz): Diese Frequenzen beeinträchtigen eindeutig die männliche Fruchtbarkeit. Diese Frequenzen beeinträchtigen möglicherweise die weibliche Fruchtbarkeit. Sie haben möglicherweise nachteilige Auswirkungen auf die Entwicklung von Embryonen, Föten und Neugeborenen.

FR2 (24 bis 100 GHz): Zu den nichtthermischen Wirkungen 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, 3600 MHz, 26 GHz) und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die 2G-, 3G- und 4G-Frequenzen noch viele Jahre lang genutzt werden - werden im Folgenden dargestellt.

7.1 Entscheidung für eine neue Technologie für Mobiltelefone, die eine Verringerung der HF-Belastung ermöglicht

Die Quelle von HF-Emissionen, die gegenwärtig die größte Bedrohung darzustellen scheint, ist das Mobiltelefon. Obwohl Sendeanlagen (Funkmasten) von manchen Menschen als das größte Risiko wahrgenommen werden, geht die größte Belastung für den Menschen im Allgemeinen von seinem eigenen Mobiltelefon aus, und epidemiologische Studien haben eine statistisch signifikante Zunahme von Hirntumoren und Schwann-Zelltumoren der peripheren Nerven beobachtet, vor allem bei Vieltelefonierern.

Wir müssen also dafür sorgen, dass immer sicherere Telefongeräte hergestellt werden, die wenig Energie abgeben und möglichst nur in einem bestimmten Abstand zum Körper funktionieren. Die kabelgebundene Hörmuschel löst einen Großteil des Problems, ist aber unbequem und schreckt daher die Nutzer ab; andererseits ist es nicht immer möglich, eine Freisprecheinrichtung zu verwenden.

Die Option, die HF-EMF-Exposition im Zusammenhang mit Telefonen so weit wie möglich zu verringern, gilt nach wie vor für alle Frequenzen, von 1G bis 5G. Länder wie die USA und Kanada, in denen strengere SAR-Grenzwerte für Mobiltelefone gelten als in Europa, waren dennoch in der Lage, effiziente 2G-, 3G- und 4G-Kommunikation aufzubauen (Madjar, 2016). Da 5G energieeffizienter sein soll als die vorherigen Technologien, ist die Annahme strengerer Grenzwerte in der EU für Mobilfunkgeräte gleichzeitig ein nachhaltiger und vorsorgender Ansatz.

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 nutzt, um den Gesundheitszustand des Planeten ständig zu überwachen, einschließlich des Klimawandels, der Energiewende, der Agrarökologie und der Erhaltung der biologischen Vielfalt. Die Verwendung der niedrigsten 5G-Frequenzen und die Einführung von vorsorglichen Expositionsgrenzwerten, wie sie unter anderem in Italien, der Schweiz, China und Russland gelten 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 Labortieren bestätigt, insbesondere hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und der krebserregenden Wirkung im Nervensystem. Das derzeit in Europa zulässige Sicherheitsniveau beträgt 61 V/m (ICNIRP, 2020a). Die niedrigste Dosis, bei der diese Wirkungen bei Fernfeldexposition experimentell beobachtet wurden, beträgt 50 V/m. In derselben experimentellen Studie (Falcioni et al., 2018) wurde eine krebserregende Wirkung bei 5 V/m beobachtet.

In Anbetracht dieses Ergebnisses könnte eine politische Option darin bestehen, die Expositionshöchstwerte für Wohngebiete und die Öffentlichkeit in ganz Europa zu überarbeiten. Die Werte könnten um mindestens das Zehnfache gesenkt werden, d. h. auf etwa 6 V/m, ein Expositionsniveau, bei dem keine krebserregenden Wirkungen bei Versuchstieren beobachtet wurden. 6 V/m scheint auch der Vorsorgegrenzwert zu sein, wenn der keine negativen Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit zu befürchten sind. Das mag unpraktisch niedrig klingen, wenn wir die Telekommunikation um 5G erweitern wollen, aber das ist nicht der Fall.

In Italien beispielsweise liegt der gesetzliche Grenzwert bei 20 V/m, aber 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 den 5 V/m, die wir zuvor als sicher für Versuchstiere bezeichnet haben. NOAEL-Werte ("No Observed Adverse Effect Level") in experimentellen Studien werden üblicherweise bei Risikobewertungen und in der Forschung verwendet (Gaylor, 1999).

In vielen italienischen Städten, darunter Bologna, wird 5G bereits mit einer Frequenz von 3600 MHz betrieben. Aus den Überwachungsdaten geht hervor, dass die durchschnittliche Exposition in der Stadt Bologna im Jahr 2019 bei 1,97 V/m lag (mit einem Spitzenwert von 4,62 V/m in einem bestimmten Fall). Die Statistiken für 2020 werden noch ausgewertet, aber in keinem Fall wurden die vom italienischen Gesetzgeber vorgeschriebenen Werte überschritten. Im Moment scheint es also möglich zu sein, neue Anlagen 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 darauf abzielt, strengere Normen für die Netzstrahlung einzuführen. Der Grenzwert für die HF-EMF-Belastung in Innenräumen wurde von zuvor 7 V/m auf 5 V/m gesenkt, was einer 30-prozentigen Verringerung 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 von der Stadt Paris genehmigt wurde, umfasst auch Pläne für einen neuen Überwachungsdienst, der bei der Messung der EMF-Werte in Gebäuden helfen soll. Brüssel ist ein drittes Beispiel für die Annahme eines unteren Grenzwerts von 6 V/m.

7.3 Verabschiedung von Maßnahmen, die Anreize zur Verringerung der HF-EMF-Exposition schaffen

Ein Großteil der bemerkenswerten Leistung der neuen drahtlosen 5G-Technologie kann auch durch die Verwendung von Glasfaserkabeln und durch die Übernahme von technischen Maßnahmen zur Verringerung der Exposition durch 2-4G-Systeme erreicht werden (Keiser, 2003; CommTech Talks, 2015; Zlatanov, 2017). Dies würde die Exposition überall dort minimieren, wo Verbindungen an festen Standorten erforderlich sind. Zum Beispiel könnten wir Glasfaserkabel verwenden, um Schulen, Bibliotheken, Arbeitsplätze, Häuser, öffentliche Gebäude, alle neuen Gebäude usw. zu verbinden. Öffentliche Versammlungsorte könnten "HF-EMF-Verbotzonen" sein (wie beim Zigarettenrauchen), um die passive Exposition von Personen zu vermeiden, die keine Mobiltelefone oder Langstreckenübertragungstechniken nutzen, und so viele gefährdete ältere oder immungeschwächte Menschen, Kinder und elektrosensible Personen zu schützen.

7.4 Förderung multidisziplinärer wissenschaftlicher Forschung, um die langfristigen gesundheitlichen Auswirkungen von 5G zu bewerten und eine geeignete Methode zur Überwachung der Exposition gegenüber 5G zu finden

In der Literatur finden sich keine angemessenen Studien, mit denen das Risiko von Tumoren und negativen Auswirkungen auf die Fortpflanzung und Entwicklung bei einer Exposition gegenüber 5G-MMW ausgeschlossen werden könnte, oder die Möglichkeit von synergistischen Wechselwirkungen zwischen 5G und anderen bereits verwendeten Frequenzen. Damit 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 angemessene Forschungsarbeiten abgeschlossen sind.

Angesichts dieser Ungewissheiten besteht eine politische Option darin, die multidisziplinäre Teamforschung zu verschiedenen Faktoren der Expositionsbeurteilung und auch zu den biologischen Auswirkungen von 5G-MMW sowohl auf den Menschen als auch auf die Flora und Fauna der Umwelt, auf nicht-menschliche Wirbeltiere, Pflanzen, Pilze und Wirbellose, bei Frequenzen zwischen 6 und 300 GHz zu fördern. Die Ergebnisse dieser Studien könnten die Grundlage für die Entwicklung einer evidenzbasierten Politikmaßnahme in Bezug auf die HF-EMF-Exposition von Menschen und nicht-menschliche Organismen auf 5G MMW-Frequenzen bilden. Es sind weitere Studien erforderlich, um die gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF im Allgemeinen und von MMW im Besonderen besser und unabhängig zu erforschen.

REACH zielt darauf ab, 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 von Chemikalien. Außerdem soll es die Innovation und Wettbewerbsfähigkeit der chemischen Industrie in der EU verbessern. EU REACH basiert auf dem Prinzip "keine Daten, kein Markt" und nimmt die Industrie in die Pflicht, Sicherheitsinformationen über Stoffe bereitzustellen. Hersteller und Importeure sind verpflichtet, Informationen über die Eigenschaften ihrer chemischen Stoffe zu sammeln, die deren sichere Handhabung ermöglichen, und diese Informationen in einer zentralen Datenbank bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) in Helsinki zu registrieren. Eine politische Option könnte darin bestehen, den für chemische Stoffe verwendeten Ansatz auch auf alle Arten von technologischen Innovationen anzuwenden.

7.5 Förderung von Informationskampagnen über 5G

Leider gibt es einen Mangel an Informationen über die potenziellen Schäden von HF-EMF. Diese Informationslücke schafft Raum für Leugner und Panikmacher und führt in vielen EU-Ländern zu sozialen und politischen Spannungen (OECD, 2017). Kampagnen zur Information der Bürger sollten daher eine Priorität sein.

Informationskampagnen sollten auf allen Ebenen durchgeführt werden, angefangen bei den Schulen. Sie sollten die potenziellen Gesundheitsrisiken, aber auch die Chancen der digitalen Entwicklung, die infrastrukturellen Alternativen für die 5G-Übertragung, die von der EU und den Mitgliedstaaten ergriffenen Sicherheitsmaßnahmen (Expositionsgrenzwerte) und den richtigen Umgang mit dem Mobiltelefon aufzeigen. Nur durch fundierte und genaue Informationen können wir das Vertrauen der Bürgerinnen und Bürger zurückgewinnen und eine gemeinsame Einigung über eine technologische Entscheidung erzielen, die bei richtiger Handhabung große soziale und wirtschaftliche Vorteile bringen kann.

8. References

8.1 General references

- 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
- 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 Update. Scoping the scope' of a Cochrane review. *Journal Public Health.* 2011; 33: 147–50.
- Austrian Institute of Technology. 5G-Mobilfunk und Gesundheit; Endbericht, im Auftrag des Österreichischen Parlaments. 2020. 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
- 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/th-e-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

- 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
- 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
- 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.
- 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; Endbericht, im Auftrag des Österreichischen Parlaments, Nr. ITA-AIT-11, Wien: Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA) und AIT Austrian Institute of Technology. 2020. English summary. epub.oeaw.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, Rösli 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.
- 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 (in Russian).
- 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 Studies 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.
- 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
- 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
- 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
- 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, Mathur AK, Sharma RS. Effect of RFy radiation on reproductive health. *Indian J Med Res*. 2018;148(Suppl): 92-99.
- Smith-Roe SL, Wyde ME, Stout MD, et al. Evaluation of the genotoxicity of cell phone radiofrequency radiation in male and female rats and mice following subchronic exposure. *Environ 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/.

- 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. (In Russian).
- 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. DO - 10.13140/RG.2.2.29183.20641.

8.2 References for the review on cancer in humans

- 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; 1;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 Oneal*. 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 Oncol*. 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.
- Linnet 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-Daug A, Radespiel-Troger M . Mobilfunkbasisstationen und Krebshaufigkeit in Bayern [Mobile phone base stations and cancer incidence in Bavaria] [German] *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 Hausmannstitten and Vasoldsberg (Austria)] Amt der Steiermärkischen Landesregierung,

- Fachabteilung für das Gesundheitswesen (Landessanitätsdirektion), Printcenter University of Salzburg, Graz, Austria. 2008. <http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/ziel/21212/DE/> (disabled link) (in German).
- 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.
- Petterson 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/microwave 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). *Aml 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, Schlaefler 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, Brilggemeyer 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 cordless 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: overview 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 EnvironMed.* 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 References for the review on cancer in experimental animals

- 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 p53 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 tumorigenesis 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 tumorigenesis 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 tumorigenesis 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 tumorigenesis 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.
- 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, GebSKI 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-ethyl-N-nitrosourea-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-ethyl-N-nitrosourea 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[a]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, GebSKI 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 References for the review on reproductive/developmental effects in humans

- 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.
- Møllerløkken 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, Merecz-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 Yet al. Habits of cell phone usage and sperm quality - does it warrant attention? *Reproductive BioMedicine Online*. 2015; 31, 421–426.

8.5 References for the review on reproductive/developmental effects in experimental animals

- 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.

In den letzten Jahrzehnten hat sich die drahtlose Kommunikationstechnologie (Mobiltelefonie, Wi-Fi) beispiellos entwickelt. Die bevorstehende Einführung der 5G-Technologie in der gesamten EU wird voraussichtlich neue Möglichkeiten für Bürger und Unternehmen bieten, und zwar durch schnelleres Surfen im Internet, Streaming und Herunterladen sowie durch eine bessere Konnektivität. Allerdings kann 5G - ebenso wie 3G und 4G, mit denen es mehrere Jahre lang parallel betrieben werden wird - auch Gefahren für die menschliche Gesundheit mit sich bringen. Dieser STOA-Bericht soll eine Bestandsaufnahme unseres derzeitigen Verständnisses der gesundheitlichen Auswirkungen von 5G ermöglichen.

Dies ist eine Veröffentlichung der Scientific Foresight Unit (STOA)

EPRS | Europäischer Parlamentarischer Forschungsdienst

Dieses Dokument wurde für die Mitglieder und Mitarbeiter des Europäischen Parlaments erstellt und richtet sich an diese als Hintergrundmaterial, um sie bei ihrer parlamentarischen Arbeit zu unterstützen. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Dokuments liegt allein bei den Verfassern, und die darin zum Ausdruck gebrachten Meinungen sind nicht als offizieller Standpunkt des Parlaments zu verstehen.

ISBN 978-92-846-8030-6 | doi: 10.2861/657478 | QA-09-21-134-EN-N

Diese Übersetzung wurde angefertigt und herausgegeben von

diagnose:funk
Technik sinnvoll nutzen