

Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien

Im Zeitraum Ende Oktober 2019 bis Mitte Januar 2020 wurden 71 neue Publikationen identifiziert, von denen zehn von BERENIS vertieft diskutiert wurden. Fünf davon wurden gemäss den Auswahlkriterien als besonders relevant und somit zur Bewertung ausgewählt und werden im Folgenden zusammengefasst.

1) Experimentelle Tier- und Zellstudien

Hochfrequente elektromagnetische Felder und Spermien von Mäusen (Houston et al. 2019)

In der Studie von Houston *et al.* (2020) wurden Effekte eines hochfrequenten Feldes auf die Spermienqualität und das Hodengewebe von adulten männlichen Mäusen (C57BL/6) untersucht. Die Mäuse wurden dabei freilaufend in Käfigen exponiert (905 MHz, Ganzkörperexposition von 2.2 W/kg, 12 Std/Tag für 1, 3 und 5 Wochen). Das Hodengewebe wurde histologisch untersucht und oxidativer Stress sowie die Entstehung von Sauerstoffradikalen mittels Durchflusszytometrie analysiert. DNS-Schädigungen wurden mittels Kometenanalyse und DNS-Schäden durch Oxidation mittels Immunfluoreszenz bestimmt. Weiterhin wurden funktionelle Parameter wie Fortbewegung, Vitalität und Befruchtungsfähigkeit der Spermien bei HF-EMF- und schein-exponierten Tieren *in vitro* analysiert. Zudem wurden Veränderungen in der frühen Embryonalentwicklung untersucht.

Die Ergebnisse zeigen eine verminderte Lebensdauer und Fortbewegung von reifen Spermien, aber keine histopathologischen Veränderungen des Hodengewebes. Nach einer Woche HF-EMF-Exposition wurde zudem eine erhöhte Produktion von mitochondrialen Sauerstoffradikalen in den Spermien beobachtet, sowie eine erhöhte DNS-Oxidation und Fragmentierung der Spermien-DNS (Einzelstrangbrüche) bei allen drei Expositionszeiten, wobei der stärkste Effekt bei der längsten Expositionszeit von 5 Wochen gemessen wurde. Die funktionalen Beeinträchtigungen der Spermien durch die HF-EMF-Exposition könnten auf oxidativen Stress zurückgeführt werden. Einerseits war die prägnanteste Beeinträchtigung der Spermien-Vitalität mit den höchsten Werten von Sauerstoffradikalen in den Spermien korreliert und andererseits waren diese Effekte ebenfalls mit dem Anstieg eines weiteren Biomarkers für oxidativen Stress (8-OH-dG) in den Kernen der Spermien korreliert. Jedoch beeinträchtigten diese Veränderungen die Befruchtungsfähigkeit sowie die frühe Embryonalentwicklung nicht.

Die verwendete Expositionseinrichtung ist ein zylindrischer Wellenleiter ähnlich zu denjenigen die auch schon in früheren Studien verwendet wurden. Die Kalibration der Feldstärken wurde im leeren Wellenleiter durchgeführt. Die daraus resultierende Ganzkörper-SAR wurde bezogen auf diese Feldstärken mit den für andere Studien errechneten Faktoren bestimmt. In diesem Expositionssystem wird die Feldverteilung stark von den Tieren und Käfig beeinflusst. Wie hoch die Variationen der SAR-Werte in den Tieren bezüglich des mit Käfigen bestückten Wellenleiters sind, ist in der vorliegenden Studie nicht abzuschätzen. Dazu müssten noch entsprechende Messungen gemacht werden. Eine Ganzkörper-SAR von 2.2 W/kg (Grenzwert: 0.08 W/kg) führt zu einer Erhöhung der Körperkerntemperatur. Es könnten daher auch thermische Auswirkungen eine Rolle spielen.

2) Experimentelle Humanstudien

Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf den Schlaf bei gesunden älteren Männern und Frauen (Danker-Hopfe et al. 2020)

Die Ergebnisse veröffentlichter experimenteller Humanstudien über die Auswirkungen von HF-EMF auf den Schlaf sind heterogen und stammen hauptsächlich von jungen Erwachsenen. Ziel der Studie von Danker-Hopfe *et al.* (2020) war es, die Auswirkungen der HF-EMF-Exposition auf die Makrostruktur (Schlafstadien und Struktur) des Schlafs von älteren Menschen (Männer und Frauen im Alter von 60 bis 80 Jahren) zu untersuchen und zu prüfen, ob es geschlechtsspezifische Auswirkungen gibt. Je 30 Männer und Frauen wurden für 30 Minuten vor dem Schlafen und während der ganzen Nacht (7.5 Stunden) zwei Arten von Feldern und einer Kontrollbedingung ohne Feld ausgesetzt: GSM900 (Global System for Mobile Communications; Trägerfrequenz 915 MHz, Modulation 217 Hz, Duty Cycle 0.125, maximaler SAR 2 W/kg) und TETRA (Terrestrial Trunked Radio; Trägerfrequenz 385 MHz, Modulation 17.6 Hz, Duty Cycle 0.25, maximaler SAR 6 W/kg). Die Studie erfolgte doppelblind und randomisiert. Pro Proband/in wurden je 9 Nächte (3 Blöcke mit 3 Bedingungen) registriert. GSM900 und TETRA Exposition führten zu einer Reduktion von sogenannten «Arousals» (d.h. kurzzeitige Aufwachreaktionen), sowie zu einer kürzeren Latenz zum Tiefschlaf und subjektiv zu weniger Wachzeit nach dem Einschlafen. Die Auswirkungen der HF-EMF-Exposition waren geschlechtsabhängig (mehr signifikante Effekte bei Frauen) und unterschiedlich für die GSM900 und TETRA Exposition.

Es zeichnete sich jedoch keine Dosis-Wirkungsbeziehung ab. TETRA Strahlung hatte eine höhere Intensität und dringt aufgrund der tieferen Frequenz tiefer in das Gehirn ein. Unabhängig vom Geschlecht deuten die beobachteten Effekte von HF-EMF-Exposition jedoch nicht auf eine schlafstörende Wirkung hin und könnten im Gegenteil als schlaffördernd im Sinne eines konsolidierteren Schlafs interpretiert werden.

3) Epidemiologische Studien

Mobiltelefonnutzung, Schilddrüsentumoren und Gen-Umweltinteraktionen: Ergebnisse einer Fall-Kontrollstudie in den USA (Luo et al. 2020)

In der Fall-Kontrollstudie von Luo *et al.* (2020) wurde ein möglicher Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Schilddrüsentumoren untersucht. Die Schilddrüse befindet sich im Hals unterhalb des Kehlkopfes und ist damit beim Telefonieren relativ nahe am Mobiltelefon. Schilddrüsenhormone spielen eine wichtige Rolle für Wachstum und Entwicklung sowie bei Stoffwechselprozessen im Körper. In die Studie eingeschlossen wurden alle noch lebenden Patienten, welche zwischen 2010 und 2011 in Connecticut mit Schilddrüsentumoren diagnostiziert wurden. Kontrollpersonen im gleichen Alter (± 5 Jahre) und Geschlecht wurden mittels zufälliger Telefonnummernwahl aus der Bevölkerung ausgewählt. Daten zum Mobiltelefongebrauch und relevante Störvariablen wurden mittels persönlicher Interviews erhoben. Insgesamt nahmen 498 Kontrollpersonen (62% Partizipationsrate) sowie 462 Patienten (66%) zwischen 21 und 84 Jahren an der Studie teil. Die Hauptergebnisse der Studie wurden bereits in einer früheren Publikation berichtet (Luo *et al.* 2019)¹. Dabei wurde kein Zusammenhang mit Mobiltelefonnutzung festgestellt, aber ein tendenziell nicht-signifikant erhöhtes Risiko für Vielnutzer gefunden. In der neuen Publikation (Luo *et*

¹ Luo J, Deziel NC, Huang H, Chen Y, Ni X, Ma S, Udelsman R, Zhang Y (2019): **Cell phone use and risk of thyroid cancer: a population-based case-control study in Connecticut.** Ann Epidemiol. 2019 Jan;29:39-45.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30446214>

al. 2020) wurden nun mögliche Gen-Umweltinteraktionen untersucht. Dazu wurden 823 genetische Varianten (Polymorphismen) von 176 Genen aus Regionen, welche in die DNS-Reparatur involviert sind, analysiert. Keine der untersuchten Polymorphismen war mit dem Auftreten von Schilddrüsentumoren assoziiert. Zehn Polymorphismen in insgesamt sieben verschiedenen Genen zeigten eine statistisch signifikante ($p < 0.01$) Interaktion mit Mobilfunknutzung und Schilddrüsentumoren.

Diese Studie verfolgt einen interessanten Ansatz, um ein besseres Verständnis zur Krankheitsentstehung durch HF-EMF zu bekommen. Es fehlt jedoch eine Konfirmationsanalyse, wie dies in vergleichbaren genetischen Studien üblich ist. Zehn signifikante Ergebnisse bei insgesamt 1646 statistischen Tests sind weniger als zufällig zu erwarten sind und es bleibt deshalb unklar, ob die beobachteten Gen-Umweltinteraktionen wirklich kausal sind. Weitere Schwächen der Studie sind die retrospektive selbstberichtete Mobiltelefonnutzung und das zufällige Nummernwahlverfahren für die Auswahl der Kontrollen, welches potentiell zu einem Bias in den Teilnahmeraten von Mobilfunk- versus Festnetznutzenden geführt haben könnte. Weitere Untersuchungen zu diesem Thema sind nötig. Erstens ist bei den neuen Mobilfunkgeräten die Antenne im unteren Bereich und damit beim Telefonieren nahe an der Schilddrüse. Zweitens nehmen Schilddrüsentumoren in den letzten Jahren stetig zu und es ist nicht abschliessend geklärt, ob diese Zunahme nur auf verbesserte Diagnostik zurückzuführen ist².

4) Dosimetrische Studien

Optimierung von 5G Netzwerken hinsichtlich deren Exposition (Matalatala et al. 2019)

Die erwartete Zunahme der drahtlosen Kommunikation lässt es sinnvoll erscheinen, die mobilen Netzwerkinfrastrukturen bezüglich Energiekonsum und Strahlenbelastung zu optimieren. Die vorliegende Studie verwendet Methoden für die Optimierung zur Auslegung von 5G Netzwerken mit adaptiven Antennen («massive MIMO») bezüglich Standort und Belegung, die gleichzeitig einen minimalen Energiekonsum, eine minimale Exposition gegenüber ‘Downlink’³ und ‘Uplink’⁴ aufweisen und eine maximale Abdeckung erreichen. Als Anwendungsbeispiel wurde ein Vorortsgebiet von Gent in Belgien untersucht. Dazu wurde ein Studiengebiet mit einem sogenannten Multi-Zellen Netzwerk ausgelegt. Jede Zelle enthält dabei eine Basisstationsantenne mit mehreren Antennenelementen. Für den Betrieb des Netzes wurden realistische Kommunikations-Szenarien simuliert. Es wurde eine Dosis berechnet, welche die Expositionsdauer multipliziert mit der SAR im Körper bei maximalem Betrieb aller Antennenelemente darstellt. Die Studie ergab, dass bei Verwendung einer höheren Anzahl von Antennenelementen pro Basisstation die Anzahl der nötigen Basisstationen für ein Netzwerk mit adaptiven Antennen abnimmt. Dies wiederum führt zu einer Abnahme der ‘Downlink’ Exposition (-12% für die elektrische Feldstärke und -32% für die ‘Downlink’ Dosis) und zu einer Zunahme in der ‘Uplink’ Dosis (+70%), wobei ‘Uplink’ und ‘Downlink’ Dosis mit der Anzahl gleichzeitiger Benutzer ansteigt. Für das betrachtete Gebiet ergab sich ein optimales ‘massive MIMO’ Netzwerk bestehend aus 37 Basisstationen mit je 64 Antennenelementen. Bei dieser Auslegung ergab sich zudem eine 5-fach tiefere Exposition durch den ‘Downlink’ als beim 4G Referenzszenario.

² Li M, Dal Maso L, Vaccarella S (2020): **Global trends in thyroid cancer incidence and the impact of overdiagnosis.** Lancet Oncology. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(20\)30115-7](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(20)30115-7)

³ Kommunikation von der Mobilfunkbasisstation

⁴ Kommunikation vom Mobiltelefon

Diese Simulationsstudie zeigt eine Methode, wie Netzwerke mit adaptiven Antennen geplant werden können, dass einerseits weniger Basisstationen nötig sind und andererseits die Exposition der Bevölkerung reduziert wird. Diese Simulationen sollten mit Messungen überprüft werden.

Spezifizierung der Grenzwerte für mm-Wellen (Neufeld et al. 2020)

In ihrem Brief in *Bioelectromagnetics* weisen Neufeld *et al.* (2020) auf mögliche Verletzungen der momentanen HF-EMF-Richtlinien hin, wenn der Hauptstrahl von Antennen sehr kurze Pulse (1ms und weniger) hat oder sehr stark gebündelt ist (1 mm). Es wird argumentiert, dass in diesem Fall eine zehnfache Temperaturerhöhung im Vergleich zur Exposition gegenüber einer Ebenen Welle mit derselben gemittelten Leistung auftreten kann. Weiter wird ausgeführt, dass im Falle von gepulsten schmalen 'beams' gemäss den vorgeschlagenen Guidelines noch extremere Temperaturerhöhungen auftreten können. Die Autoren verlangen in ihren Schlussfolgerungen, dass die Grenzwerte von der Pulsdauer abhängig sein müssen um die Benutzer von Mobilfunkgeräten, die im Frequenzbereich von 6 bis zu 30 GHz funktionieren, vor grösseren als den durch die Richtlinien erlaubten Temperaturerhöhungen zu schützen.

Die Aussagen beruhen auf Simulationsdaten, die nebst den elektromagnetischen Feldern auch ein Modell für die Thermoregulation der Haut beinhalten. Damit sind auch einige Grundannahmen über physiologische Reaktionen in den Modellen vorhanden. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Ausführungen für Quellen im Frequenzbereich von 6 bis 30 GHz gelten, die nah am Körper betrieben werden. Nur in diesen Situationen sind die beschriebenen Expositionsszenarien denkbar. Inwiefern sie aber für zukünftig existierende Geräte praktisch relevant sind ist noch zu zeigen. Offensichtlich ist, dass die momentan geltenden Richtlinien nicht alle theoretisch möglichen Fälle von Expositionsszenarien einbeziehen. Dies sollte in der nächsten Überarbeitung der Richtlinien berücksichtigt werden oder durch eine Zusatzklausel geregelt werden, falls solche Expositionssituationen in Zukunft tatsächlich auftreten können.

Literaturangaben

Danker-Hopfe H, Dorn H, Sauter C, Schmid G, Eggert T (2020): **An experimental study on effects of radiofrequency electromagnetic fields on sleep in healthy elderly males and females: Gender matters!** *Environ Res.* 2020 Jan 24;183:109181. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32014649>

Houston BJ, Nixon B, McEwan KE, Martin JH, King BV, Aitken RJ, De Iuliis GN (2019): **Whole-body exposures to radiofrequency-electromagnetic energy can cause DNA damage in mouse spermatozoa via an oxidative mechanism.** *Sci Rep.* 2019 Nov 25;9(1):17478. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31767903>

ICNIRP (2020): **Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz).** International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). *Health Phys.* 2020 May;118(5):483-524. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32167495>

Luo J, Li H, Deziel NC, Huang H, Zhao N, Ma S, Ni X, Udelsman R, Zhang Y (2020): **Genetic susceptibility may modify the association between cell phone use and thyroid cancer: A population-based case-control study in Connecticut.** *Environ Res.* 2019 Dec 6;182:109013. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31918310>

Matalatala M, Deruyck M, Shikhantsov S, Tanghe E, Plets D, Goudos S, Psannis KE, Luc Martens L, Joseph W (2019): **Multi-Objective Optimization of Massive MIMO 5G Wireless Networks towards Power Consumption, Uplink and Downlink Exposure**. Appl Sci 2019, 9(22), 4974.

<https://doi.org/10.3390/app9224974>

Neufeld E, Samaras T, Kuster N (2020): **Discussion on Spatial and Time Averaging Restrictions Within the Electromagnetic Exposure Safety Framework in the Frequency Range Above 6 GHz for Pulsed and Localized Exposures**. Bioelectromagnetics. 2020 Feb;41(2):164-168. Epub 2019 Dec 30.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31885092>

Kontakt

Dr. Stefan Dongus
Sekretariat BERENIS
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut
Department Epidemiology and Public Health
Environmental Exposures and Health Unit
Socinstr. 57, Postfach, 4002 Basel
Tel: +41 61 284 8111
E-Mail: stefan.dongus@swisstph.ch

Weitere Informationen:

[Beratende Expertengruppe nicht-ionisierende Strahlung \(BERENIS\)](#)

[Abkürzungsverzeichnis \(als pdf\)](#)