

Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien

Im Zeitraum von Anfang Februar bis Ende April 2021 wurden 88 neue Publikationen identifiziert, von denen sechs von BERENIS vertieft diskutiert wurden. Vier davon wurden gemäss den Auswahlkriterien als besonders relevant und somit zur Bewertung ausgewählt und werden im Folgenden zusammengefasst.

1) Experimentelle Tier- und Zellstudien

20-kHz-Magnetfelder und der Einfluss auf die Entwicklung von Krebs sowie Gedächtnisleistung, Koordination / Gleichgewicht und Angstverhalten bei weiblichen Mäusen (Lerchl et al. 2021)

In der Studie von Lerchl *et al.* (2021) wurden Effekte chronischer Magnetfeldexposition (20 kHz, 360 μ T) auf das Verhalten von Mäusen sowie hinsichtlich Karzinogenese/Krebsentstehung untersucht. Magnetfelder in diesem Frequenzbereich werden zum Beispiel bei Induktionskochherden oder kabellosem Laden von Elektroautos verwendet. Für diesen Frequenzbereich gibt es nur relativ wenige publizierte Studien.

Je 80 weibliche Mäuse wurden in Käfigen mit je 5-6 Tieren ab einem Alter von drei Monaten für insgesamt 13 Monate Schein- oder real exponiert (24 Stunden pro Tag, 7 Tage pro Woche, homogenes Magnetfeld bei einer Frequenz von 20 kHz und einer Intensität von 360 μ T). Bei dieser Intensität sind die induzierten Körperströme bei der Maus vergleichbar wie beim Menschen beim Grenzwert für die Bevölkerung (27 μ T). Nach 10-monatiger Exposition wurden Verhaltenstests durchgeführt, um die Gedächtnisleistung, Koordination/Gleichgewicht und das Angstverhalten der Tiere zu erfassen. Nach 13 Monaten wurde Gewebe von Gehirn, Leber, Niere, Milz und Lunge der Mäuse routinemässig histologisch untersucht, um die Entstehung von Tumoren und deren Typ zu analysieren.

Die Ergebnisse zeigten keine Unterschiede zwischen exponierten Mäusen und denjenigen der Kontrollgruppe betreffend Gewichtszunahme und Überlebenszeit. In den Verhaltenstests zur Gedächtnisleistung zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Allerdings waren Gleichgewicht und Koordination bei den MF-exponierten Mäusen verändert; die Tiere hielten sich länger auf dem drehenden Stab (Rotarod). Diese Veränderungen führen die Autoren auf vermehrten Stress und daher erhöhte Vigilanz zurück.

Ogleich die Tumorzinzidenz nicht signifikant verändert war, wurden tendenziell mehr Tumoren und Hyperplasien bei den exponierten Mäusen beobachtet (11 bei den Kontrollen, 17 bei den Exponierten). Bei den Exponierten waren folgende Tumortypen bzw. Tumorstufen häufiger: maligne Lymphome, Meningiome, bronchoalveoläre Karzinome, Hämangiosarkome, und Nierentubulus-Karzinome; bei den Kontrollen bronchoalveoläre Adenome und Milzmarkhyperplasien. Einzig die erhöhte Tumorzinzidenz bei den malignen Lymphomen (2.5% versus 8%) bei MF-exponierten Tieren ist auffällig, entsprechend wären hier Folgestudien angebracht. Aufgrund der äusserst geringen Tumorzinzidenz (0-2%) bei vielen Tumortypen ist der nicht signifikante Anstieg der einzelnen Tumoren schwer zu bewerten. Hier wären historische Kontrollen von Vorteil, um innerhalb eines Zeitraums von wenigen Jahren im selben Labor Daten zum Vergleich heranzuziehen. Zudem wurde lediglich ein Gewebeschnitt pro Organ angefertigt, obwohl die standardmässige Vorgehensweise zwei Schnitte vorsieht.

Verminderte Neurogenese und Wahrnehmungskapazität nach Langzeitexposition von Mäusen in einem hypomagnetischen Feld (Zhang et al. 2021)

Die Studie von Zhang *et al.* (2021) beschäftigt sich nicht mit technologie-verursachten EMFs, sondern untersucht den Einfluss des Erdmagnetfeldes (Geomagnetisches Feld, GMF) auf biologische Funktionen. Es ist anerkannt, dass das GMF von einigen Tierarten zur Navigation genutzt werden kann. Diverse Studien unter Exposition mit einem Hypomagnetfeld (Absenz eines Magnetfeldes), wie es z.B. bei der Weltraumfahrt anzutreffen ist, zeigen negative Effekte auf das zentrale Nervensystem. Jedoch ist weitestgehend unerforscht, ob das GMF einen generellen Einfluss auf alle Organismen oder grundlegende Zellfunktionen hat. Ein solcher Zusammenhang wird in dieser Studie am Beispiel der Entstehung von Neuronen (Neurogenese) bei Absenz eines Magnetfeldes betrachtet. Die Neurogenese ist eng verknüpft mit Lernen und Gedächtnisleistung, welche durch Stress sowie verschiedene Umwelteinflüsse vermindert werden kann. Es wäre also vorstellbar, dass eine solche evolutionär entstandene Abhängigkeit bei starker Reduktion eines Magnetfeldes beobachtet werden könnte, was auf funktionelle Auswirkungen durch EMF hinweisen könnte.

Männliche Mäuse (Inzuchtstamm C57BL/6, auch als "black6" bekannt), die in einem statischen hypomagnetischen Feld (HMF) exponiert waren, also unter Ausschluss des Erdmagnetfeldes, zeigten erhebliche Beeinträchtigungen der Neurogenese nach 2-wöchiger Exposition, was sich in einer Hemmung der Proliferation neuronaler Stammzellen zeigte. Das statische HMF war mit 0.29 μT ca. 190-mal schwächer als das lokale Erdmagnetfeld (ca. 55 μT). Neuronen in der Hirnregion Hippocampus (*Gyrus dentatus*) von Neugeborenen waren nach HMF-Exposition von wenigen Wochen weniger weit differenziert. Eine Transkriptomanalyse verdeutlichte, dass die Hemmung der Differenzierung mit einer Hochregulation von Genen im Zusammenhang mit metabolischen Prozessen und Zellproliferation einherging. Gleichzeitig war das Lernverhalten der Tiere im HMF deutlich vermindert. Diese Beobachtungen korrelierten mit vermindertem Gehalt an Superoxid, einem reaktiven Sauerstoffradikal (eine Form von ROS). Sowohl die gehemmte Neurogenese, als auch die Reduktion der Differenzierung der neuronalen Stammzellen und das Lernverhalten konnten durch pharmakologische Hemmung des Superoxid-Abbaus aufgehoben werden. Die Autoren folgern aus den Daten, dass das Erdmagnetfeld eine wichtige Rolle in der Neurogenese in der Hirnregion Hippocampus und dem Hippocampus-abhängigen Lernen bei Erwachsenen spielt. Dies wird durch das Aufrechterhalten des Superoxid-Spiegels gesteuert, der durch eine HMF-Exposition vermindert wird. In diesem Fall funktioniert ROS/Superoxid als Signalmolekül und Regulator der neuronalen Entwicklung und führt nicht zu toxischen Zelleffekten. Der zugrundeliegende Mechanismus dieser Beobachtungen muss noch weiter erforscht werden, könnte aber durchaus durch andere NF-MF und HF-EMF beeinflusst werden.

Beeinflussung von Hautzellen durch hochfrequente elektromagnetische Felder (Kim et al. 2021)

Die Haut als physische Barriere zur Umgebung ist elektromagnetischen Feldern und anderen Umwelteinflüssen am stärksten ausgesetzt. Diesbezüglich haben Kim *et al.* (2021) in ihrer *in vitro* Studie menschliche Hautzellen (Keratinocyten HaCaT) auf Effekte eines LTE-modulierten HF-EMF (1.76 GHz, SAR: 4 W/kg, 2 Stunden/Tag, für 4 Tage) hin untersucht, wobei teilweise UV-A-Bestrahlung als positive Kontrolle einbezogen wurde. Die Autoren haben einen Anstieg der Bildung von ROS beobachtet, der allerdings weniger stark ausfiel als nach UV-A-Bestrahlung. Das erhöhte ROS-Level nach LTE-Exposition hatte aber keinen Einfluss auf die Morphologie, die Vitalität und die Vermehrung der Zellen und führte auch nicht zu Veränderungen von Apoptose-Markern, was auf eine toxische Wirkung hindeuten würde. Im Weiteren wurde die Expression und Aktivität von «Matrix Metalloproteinasen» (MMPs) analysiert. Proteine dieser Enzymfamilie bauen im extrazellulären Raum

Kollagen (Kollagenase) und Gelatin (Gelatinase) ab und gelten als Hautalterungsfaktor. Es wurde festgestellt, dass die Exposition mit dem HF-EMF die Menge der Kollagenasen MMP1, -3, und -7 und die Aktivität der Gelatinasen MMP2 und -9 erhöhte, allerdings wiederum weniger stark als bei einer UV-A-Bestrahlung. Ebenso lieferte die Analyse des Transkriptionsfaktors FoxO3 Hinweise auf eine Beeinflussung des Zellularalterungsprozesses (Seneszenz). Zudem fanden die Autoren, dass die MAPK-Signalkaskade aktiviert wurde und mehr von der aktiven phosphorylierten Form von Erk1/2 vorhanden war, während der Entzündungsmarker Cox2 sich nicht veränderte.

Die Autoren schliessen aus ihren Daten, dass eine HF-EMF-Exposition wie beispielsweise einem LTE-Signal möglicherweise zu einer Beschleunigung des Hautalterungsprozesses durch die Bildung von ROS führen könnte, ähnlich dem bekannten Wirkungsmechanismus von höher-energetischer Strahlung wie UV-A. Die gleiche Forschungsgruppe hatte schon vorgängig über vergleichbare Effekte von HF-EMF-Exposition auf Alterungsprozesse anderer Zelltypen berichtet (siehe Choi *et al.* 2020, [Newsletter 24](#)). Allerdings ist die momentane Datenlage diesbezüglich noch recht dünn und weitere Untersuchungen sind nötig, um diese Schlussfolgerungen zu stützen oder zu widerlegen. Interessant wäre es in diesem Zusammenhang zu sehen, wie sich die beiden Umwelteinflüsse bei einer gleichzeitigen beziehungsweise sequenziellen Exposition auswirken würden.

2) Dosimetrische Studie

Exposition durch ein kommerzielles 5G-Netzwerk in Bern (Aerts et al. 2021)

Im Rahmen einer initialen in situ Messkampagne wurde eine Bewertung der Exposition durch Antennen der fünften Generation ('New Radio (NR) massive multiple-input-multiple-output (MaMIMO)') in einem kommerziellen auch mit 5G ausgerüsteten Mobilfunknetz der Swisscom in Bern vorgenommen. In der Umgebung von einem 5G-NR-Netzwerk von 4 Mobilfunkanlagen wurden Messungen an insgesamt 22 Positionen mit Sichtverbindung und in Abständen von 30 bis 410 m zu den NR-Antennen durchgeführt. 20 der Messpositionen waren auf 1.5 m Höhe ab Boden und zwei auf Dächern auf der Höhe von 20.5 m. Die Feldstärken wurden für zwei Szenarien ermittelt. Das erste Szenario umfasst die Feldstärke im aktuell laufenden Netzbetrieb. Das zweite Szenario umfasst zusätzlich die Belastung durch eine experimentell provozierte Verbindung zwischen der NR-Antenne und einem Endgerät mit einer theoretisch maximalen Auslastung der Verkehrskanäle. Dabei war das Handy in der Verlängerung der Sichtverbindung zur Antenne platziert. Die NR-Antennen der vier untersuchten Basisstationen sind im n78-Band (3.3 – 3.8 GHz) mit einer Eingangsleistung von 1.5 bis 8 Watt betrieben und verwenden 'codebook'-basiertes 'beamforming', d.h. vorgegebene voreingestellte Abstrahlverteilungen der adaptiven Antennen, deren abgestrahlte Sendeleistung zum Zeitpunkt der Messkampagne in der Schweiz insofern limitiert ist, dass sie ein OMEN¹ maximal mit einem Zehntel des Immissionsgrenzwertes belasten darf. Ohne aktiv provozierte Verkehrsdaten erzeugen die Emissionen der mit 1.6 bis 8W Eingangsleistung betriebenen NR-Antennen bei den ausgewählten Messorten Feldstärken kleiner als 0.05 V/m. Im Betrieb mit der zusätzlich experimentell provozierten Auslastung der Verkehrskanäle erreichten die Feldstärken an den ausgewählten Messpunkten einen maximalen Wert von 0.6 V/m. Dieser maximale Werte entspricht dem höchsten Wert, der innerhalb eines sogenannten «Ressourcen-Elements» innerhalb eines Übertragungspakets von 20ms Dauer gemessen wurde. Extrapoliert man diese Werte auf die vom Hersteller maximal zugelassene Antenneneingangsleistung von 200 W, führt dies an den gemessenen Messpunkten zu maximalen

¹ OMEN = «Orte mit empfindlicher Nutzung». Mehr Informationen siehe <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/fachinformationen/massnahmen-elektrosmog/orte-mit-empfindlicher-nutzung--omen-.html>.

Feldstärken von 4.9 V/m. Dies entspricht ungefähr dem Schweizerischen Anlagegrenzwert und einer Grenzwertausschöpfung der ICNIRP-Grenzwerte bezüglich Leistungsdichte (10 W/m² bei 3.5 GHz) von 0.5 – 0.6%. Der Beitrag der Exposition der NR-Antennen zur gesamten Immission elektromagnetischer Felder betrug zum Zeitpunkt der Messung in Bern im Mittel 2%.

Die Autoren folgern aus dieser ersten in situ Messkampagne in einem kommerziellen Netzwerk zu den aktuell erzeugten und den extrapolierten Feldstärken durch 5G-NR-Antennen, dass der EMF-Beitrag der neuen Antennen zu den bereits bestehenden EMF-Immissionen klein ist. Auch im Fall einer hundertprozentigen Belegung des Verkehrskanals blieben die Werte deutlich unterhalb der internationalen Grenzwerte.

Es ist zu betonen, dass die Aussagekraft solcher Messungen räumlich und zeitlich limitiert ist. Weitere ausführliche Messkampagnen sind nötig, um diese Schlussfolgerungen zu bestätigen, insbesondere wenn 5G in der Schweiz verbreiteter genutzt wird. Die Studie wurde von Mobile & Wireless Forum (Internationaler Mobilfunkbranchenverband) unterstützt.

4) Weitere Publikationen zur Information

Expertenberichte zu EMF und Gesundheit

Die französische *Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail* (ANSES) hat im März 2021 einen Expertenbericht zum Thema «EMF-Exposition im Zusammenhang mit der Einführung der 5G-Technologie und mögliche damit verbundene gesundheitliche Auswirkungen» publiziert (in Französisch).²

Im April 2021 ist ausserdem der 15. Bericht des wissenschaftlichen Rates der schwedischen Strahlenschutzbehörde zur aktuellen EMF-Forschung erschienen.³

Literaturangaben

Aerts S, Deprez K, Colombi D, Van den Bossche M, Verloock L, Martens L, Törnevik C, Joseph W (2021): **In Situ Assessment of 5G NR Massive MIMO Base Station Exposure in a Commercial Network in Bern, Switzerland.** Appl Sci. 2021; 11(8):3592. <https://doi.org/10.3390/app11083592>

Kim JH, Kang DJ, Bae JS, Lee JH, Jeon S, Choi HD, Kim N, Kim HG, Kim HR (2021): **Activation of matrix metalloproteinases and FoxO3a in HaCaT keratinocytes by radiofrequency electromagnetic field exposure.** Sci Rep. 2021 Apr 7;11(1):7680. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33828192/>

Lerchl A, Drees Née Grote K, Gronau I, Fischer D, Bauch J, Hoppe A (2021): **Effects of Long-Term Exposure of Intermediate Frequency Magnetic Fields (20 kHz, 360 µT) on the Development, Pathological Findings, and Behavior of Female Mice.** Bioelectromagnetics. 2021 May;42(4):309-316. Epub 2021 Apr 6. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33822410/>

² ANSES (2021): **Expositions aux champs électromagnétiques liées au déploiement de la technologie de communication « 5G » et effets sanitaires éventuels associés.** (saisine 2019-SA-0006). Maisons-Alfort: ANSES, 241 p. https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2019SA0006_Rapport_5G_consultation.pdf

³ SSM (2021): **Recent Research on EMF and Health Risk. Fifteenth report from Swedish Radiation Safety Authority's (SSM) Scientific Council on Electromagnetic Fields.** April 2021. <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/2021-08>

Zhang B, Wang L, Zhan A, Wang M, Tian L, Guo W, Pan Y (2021): **Long-term exposure to a hypomagnetic field attenuates adult hippocampal neurogenesis and cognition.** Nat Commun. 2021 Feb 19;12(1):1174. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33608552/>

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 \(als pdf\)](#)