

Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien

Im Zeitraum Februar bis April 2019 wurden 112 neue Publikationen identifiziert, von denen 9 von BERENIS vertieft diskutiert wurden. Vier davon wurden gemäss den Auswahlkriterien als besonders relevant und somit zur Bewertung ausgewählt und werden im Folgenden zusammengefasst. Darüber hinaus werden in dieser Ausgabe einige Studien vorgestellt, die Zusammenhänge von Mobilfunknutzung und strahlungsunabhängigen gesundheitlichen Auswirkungen bei Jugendlichen untersuchen.

1) Experimentelle Tier- und Zellstudien

Hochfrequente elektromagnetische Felder und Fertilität bei männlichen Ratten (Shahin et al. 2019)

In der Studie von Shahin *et al.* (2019) wurden Effekte von HF-EMF (GSM 900 MHz, 1.075 W/kg Ganzkörper-SAR) auf die Fertilität von männlichen Ratten untersucht. Die Tiere waren für 2 Stunden pro Tag und insgesamt 8 Wochen HF-EMF- oder schein-exponiert. Das Polyamin Spermin wurde eingesetzt, um allfällige Effekte von HF-EMF auf funktionelle, morphologische oder biochemische Marker zu verhindern und somit die Beweisführung zu stärken. *[Spermin ist massgeblich an der Spermatogenese beteiligt, was bei transgenen Mäusen durch eine Mutation in dem Enzym Spermin Synthase gezeigt wurde. Die Spermatogenese war beeinträchtigt und die Tiere waren infertil. Auch schützen Polyamine wie Spermin die Spermien vor DNS-Schädigungen: so wurden antioxidative, entzündungshemmende und anti-apoptotische Effekte beschrieben].* Neben quantitativen Untersuchungen des Gewebes und funktioneller Parameter der Hoden und Spermien (Aktivität) wurden diverse Hormone und biochemische Biomarker sowie DNS-Schäden in den Hoden untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die HF-EMF-Exposition die Spermienzahl sowie deren Lebensfähigkeit und Motilität signifikant vermindert und die Anzahl pathologischer Spermienformen erhöht. Serum-inhibin-B-Werte, einem Marker der Spermatogenese, waren signifikant reduziert, ebenso wie die Konzentration von Testosteron. Konzentrationen von Hormonen wie Follikel-stimulierendes Hormon, luteinisierendes Hormon und Östradiol waren signifikant erhöht. Das regulatorische Protein, das an der Steroidgenese (Grundbaustein der Sexualhormone) beteiligt ist (StAR), c-kit mRNA Expression und Aktivitäten der androgenen Schlüsselenzyme 3 β - and 17 β -Hydroxysteroid Dehydrogenasen waren nach HF-EMF-Exposition signifikant erniedrigt. Diverse biochemische Parameter, die im Zusammenhang mit oxidativer Degradation von Lipiden, Entzündung, Apoptose und oxidativem Stress stehen, wurden ebenfalls untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass HF-EMF diese Parameter fördert und DNS-Schädigungen im Hoden initiiert.

Spermin-Applikation für einen Zeitraum von 8 Wochen verhindert Veränderungen in Spermien- und Hormon-Profilen, StAR und c-kit Expression sowie die androgenen Enzymaktivitäten. Spermin verhinderte teilweise die HF-EMF-induzierten oxidativen Wirkungen sowie Apoptose und Entzündung.

Die Tatsache, dass Gewebeuntersuchungen der Hoden die biochemischen Daten bestätigen sowie die schützenden Effekte von Spermin zeigen auf verschiedenen Ebenen, dass HF-EMF in der hier verwendeten Studie bei Ratten Spermien in ihrer Morphologie sowie in ihrer Funktion schädigt, und Hormon-Profile via Steroidogenese und Spermatogenese beeinträchtigt. Die Expositionseinrichtung ist nicht detailliert beschrieben und kann somit nicht beurteilt werden. Die angegebene Ganzkörperexposition von 1.075 W/kg ist deutlich über dem Immissionsgrenzwert für die Bevölkerung (0.08 W/kg).

2) Humanexperimentelle Studien

Hochfrequente elektromagnetische Felder und Ruhe-EEG: Thermischer Effekt? (Loughran et al. 2019)

Es ist eine anhaltende Kontroverse, ob die beobachteten Effekte von HF-EMF-Exposition auf das Wach-EEG (Elektroenzephalogramm) im Ruhezustand rein thermischer Natur sind oder ob ein noch nicht bekannter biologischer Mechanismus zugrunde liegt. Diese Frage ist von Relevanz für die Grenzwertdiskussion. In der Studie von Loughran *et al.* (2019) wurden 36 Probanden (18 weibliche, 18 männliche) GSM-artigen Feldern (920 MHz; Kontrolle (SAR 0 W/kg); mittel (maximaler SAR: 1 W/kg); stark (2 W/kg)) ausgesetzt. Die Probanden mussten einen Anzug mit Wasserperfusion (34 °C) tragen, um die Oberflächentemperatur der Haut während des Experiments konstant zu halten und einen Einfluss der Umgebungstemperatur auszuschliessen. Lediglich die Hände und der Kopf waren frei. Auf eine 16-minütige Kontrollmessung (Baseline) folgte jeweils eine 30-minütige Exposition. Die drei Bedingungen wurden im Wochenabstand getestet (randomisiert und doppelblind). Unter dem starken Feld war die Alpha Aktivität im EEG am Ende der Exposition erhöht. Um die Thermoregulation zu verfolgen, wurde die Temperatur des linken Mittelfingers gemessen. Nach der Baseline nahm die Temperatur zunächst etwas ab. Am Ende der Exposition mit tiefem Feld war die Fingertemperatur signifikant höher als in der Kontrollbedingung. Die Autoren haben dies als klare thermoregulatorische Antwort interpretiert. Durch die Exposition könnten Hirnregionen, die für die Thermoregulation verantwortlich sind, erwärmt worden sein, was dann eine Erweiterung der Blutgefässe in der Peripherie (Finger) zur Folge gehabt haben könnte.

Die Autoren sind der Meinung, dass ihre Studie einen klaren Hinweis auf einen thermischen Mechanismus liefert. Dies ist allerdings eine Überinterpretation der Ergebnisse, zumal die Statistik teilweise fraglich ist und die Resultate inkonsistent sind, da nur die schwache Exposition eine signifikante Temperaturerhöhung zeigte. Hingegen wurde der EEG-Effekt bei der starken Exposition beobachtet, und ein Zusammenhang zwischen der Temperaturveränderung und dem EEG-Effekt wurde nicht gezeigt.

3) Epidemiologische Studien

Geburtsdefekte und Exposition der Mutter gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern (Auger et al. 2019)

In einer gross angelegten kanadischen Studie wurden die Geburten zwischen 1989 und 2016 in Spitälern der Provinz Quebec im Hinblick auf mütterliche niederfrequente Magnetfeldexposition untersucht. Die geokodierte Distanz des Wohnortes zur nächsten Hochspannungsleitung (≥ 120 kV) oder Transformerstation wurde als Expositionsmaass verwendet. Insgesamt wurden 2'164'246 Kinder in die Analyse miteingeschlossen und dabei 123'575 Geburtsdefekte beobachtet. Am häufigsten waren Klumpfüsse (29'192), nichtkritische Herzfehler (19'718) und Störungen des urogenitalen Systems (15'853). Bei der Analyse berücksichtigt wurden das Alter und Erkrankungen der Mutter, Geschlecht und Anzahl Geschwister des Neugeborenen, Zwillingsgeburt, Urbanität, sozioökonomischer Status und Zeitperiode. Mütter, welche zum Zeitpunkt der Geburt weniger als 200 Meter von einer Hochspannungsleitung oder einem Transformator entfernt lebten, hatten ein 2% bzw. 5% höheres Risiko für ein Kind mit einem Geburtsdefekt. Dabei war das Risiko im Umkreis von 50 Metern nicht höher als im Abstand von 200 Metern von einer Hochspannungsleitung.

Dies ist eine sehr grosse Studie zu einem bisher noch kaum untersuchten Thema. Eine Stärke der Studie liegt darin, dass praktisch alle in Quebec aufgetretenen Geburten eingeschlossen wurden und die objektiven Daten der Austrittsberichte genutzt werden konnten. Allerdings ist die Distanz zu einer Hochspannungsleitung oder einem Transformator ein suboptimales Expositionsmass. NF-MF-Exposition ist vor allem im Umkreis von 50 Metern von Höchstspannungsleitungen erhöht (≥ 220 kV). Für die entsprechende Gruppe wurde leider keine solche Analyse gemacht und daher ist die Expositionsmisssklassifikation beträchtlich. Dass im Umkreis von 50 Metern von allen Leitungen das Risiko nicht höher war als im Umkreis von 200 Metern deutet aber dennoch darauf hin, dass NF-MF keinen Effekt auf Geburtsdefekte hat. Die individuell geringfügig erhöhten Risiken innerhalb von 200 Metern könnten auch auf nicht berücksichtigte Störvariablen (Confounder) zurückzuführen sein. Es ist nicht klar beschrieben, aber mit Transformatoren sind in dieser Studie wahrscheinlich Unterwerke gemeint. Es wurde auch nicht beschrieben, ob die Analyse auch erdverlegte Kabel miteinschliesst oder nicht. Falls ja, hätte dies eine weitere Expositionsmisssklassifikation zur Folge, da die NF-MF schon im geringen Abstand von erdverlegten Kabeln sehr klein sind.

Zusammenhang zwischen mütterlichem Mobiltelefongebrauch in der Schwangerschaft, Dauer der Schwangerschaft und Wachstum des Fötus (Tsarna et al. 2019)

In einer gemeinsamen Analyse der Daten von vier Kohortenstudien aus Dänemark (1996-2002), Holland (2003-2004), Spanien (2003-2008), und Südkorea (2006-2011) wurde untersucht, ob mütterliche Mobiltelefonnutzung während der Schwangerschaft mit der Dauer der Schwangerschaft oder dem fötalen Wachstum assoziiert ist. Insgesamt wurden Daten von 55'507 schwangeren Frauen berücksichtigt. Es wurde unterschieden zwischen keiner Mobiltelefonnutzung (30'433 Mütter), geringer Nutzung mit maximal einem Anruf pro Tag (12'930), mittlerer Nutzung mit 1-3 Anrufen pro Tag (8'270) und starker Nutzung mit mindestens 4 Anrufen pro Tag (3'874). Bei der Analyse berücksichtigt wurden Alter, Grösse, Gewicht und Zivilstand der Mutter sowie ihr Alkoholkonsum, Aktiv- und Passivrauchen sowie bisherige Anzahl Schwangerschaften. Es wurde ein statistischer Expositions-Wirkungszusammenhang für kürzere Schwangerschaften und für Frühgeburten, definiert als Geburt vor der 36. abgeschlossenen Schwangerschaftswoche, beobachtet. Die entsprechenden Risikozunahmen waren 2% und 28% für Mütter mit starker Nutzung im Vergleich zu Müttern mit geringer Nutzung. Hinsichtlich fötalem Wachstum und Geburtsgewicht wurde kein Zusammenhang gefunden. Die Autoren schreiben, dass Mobilfunknutzung während der Schwangerschaft ein Indikator für den Stress der Mutter sein könnte und daher die gefundenen Zusammenhänge auch darauf statt auf die Mobilfunkstrahlung zurückzuführen sein könnten.

Die Stärke dieser Studie ist neben der grossen Anzahl von Müttern die Vielzahl von weiteren Faktoren, welche bei der Analyse berücksichtigt wurden. Eine Schwäche der Studie ist, dass 94% der Mütter erst sieben Jahre nach der Schwangerschaft Auskunft über ihre Mobilfunkbenutzung gaben. Die Exposition des Fötus während eines mütterlichen Telefonats ist sehr gering und es ist unklar wie eine solch geringe Mobilfunkstrahlung den Fötus beeinflussen kann. Für die Exposition des Fötus ist wahrscheinlich relevanter wie lange und häufig ein Mobiltelefon in der Nähe des Bauchs getragen wird. Diese Daten lagen aber nicht vor. Es ist aber nicht auszuschliessen, dass die Exposition einen Einfluss auf den mütterlichen Organismus hat und so indirekt den Fötus beeinflussen könnte.

Mobilfunknutzung und Symptome bei Jugendlichen: nicht strahlenbedingte Zusammenhänge

Digitale Mediennutzung kann prinzipiell die Gesundheit von Kindern und Jugendlichen auf vielfältige Art und Weise beeinflussen. Neben potentiellen Wirkungen der HF-EMF sind auch andere

Auswirkungen als Begleiterscheinung der digitalen Mediennutzung denkbar. Beispiele hierfür sind etwa die Folgen von nächtlichem Aufwachen wegen des eigenen Handys, Blaulicht vom Bildschirm sowie die Folgen von extensiver Zeit am Bildschirm oder in den sozialen Medien. Studien zu diesem Themenbereich sind für die Zielsetzung von BERENIS im Prinzip nicht prioritär, und wurden bisher nie für einen Newsletter ausgewählt. In der letzten Zeit sind aber einige qualitativ gute Studien zu diesem Thema erschienen. Aus diesem Grund wird stellvertretend für den ganzen Forschungsbereich im Folgenden eine Auswahl davon kurz vorgestellt.

In einer kalifornischen prospektiven Kohortenstudie bei 2'587 Jugendlichen im Alter von 15-16 Jahren ohne ADHS-Symptome (Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung) wurde festgestellt, dass die Wahrscheinlichkeit innerhalb von zwei Jahren ADHS-Symptome zu entwickeln signifikant vom Ausmass der digitalen Mediennutzung abhing. Studienteilnehmende mit der stärksten digitalen Mediennutzung entwickelten rund doppelt so häufig ADHS-Symptome wie Jugendliche mit geringer digitaler Mediennutzung (Ra *et al.* 2018).

In einer spanischen Querschnittstudie bei 226 Jugendlichen im Alter von 17-18 Jahren wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen problematischer Mobiltelefonnutzung (anhand standardisiertem Fragebogen) und reduzierter subjektiver sowie objektiver Schlafqualität beobachtet. Die objektive Schlafqualität wurde mittels Aktimeter erhoben. Weiter wurde festgestellt, dass mit zunehmendem Tabletgebrauch die Schlafeffizienz verringert und die Dauer der Wachphasen nach dem Einschlafen erhöht waren (Cabré-Riera *et al.* 2019).

In einer prospektiven Kohortenstudie von 4'333 chinesischen Hochschulstudenten zeigte sich, dass Studenten, die angaben, täglich vier Stunden oder mehr ein Mobiltelefon zu benutzen, innerhalb von 8 Monaten signifikant häufiger Schlafstörungen und mentale Gesundheitsprobleme entwickelten (Liu *et al.* 2019).

In einer prospektiven Kohortenstudie von 843 Jugendlichen im Alter von 12-15 Jahren aus der Schweiz wurde beobachtet, dass nächtliches Aufwachen bedingt durch das eigene Handy zu einer Zunahme von Schlaf- und Konzentrationsproblemen führte. Auch wurde festgestellt, dass Jugendliche mit überdurchschnittlicher Bildschirmzeit ein rund 2.5-mal grösseres Risiko für Einschlafprobleme hatten, sowie mit grösserer Wahrscheinlichkeit eine Reihe von weiteren unspezifischen Gesundheitsproblemen entwickelten (Foerster *et al.* 2019).

In einer irischen Studie mit 1'626 Teilnehmenden im Alter von 6-7 Jahren sowie 12-13 Jahren hatten Kinder mit mehr als 3 Stunden Bildschirmzeit pro Tag ein 3.7-fach erhöhtes Risiko für Kurzsichtigkeit (Harrington *et al.* 2019).

Literaturangaben

Auger N, Arbour L, Luo W, Lee GE, Bilodeau-Bertrand M, Kosatsky T (2019): **Maternal proximity to extremely low frequency electromagnetic fields and risk of birth defects.** Eur J Epidemiol. 2019 Jul;34(7):689-697. doi: 10.1007/s10654-019-00518-1. Epub 2019 Apr 11.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30977029>

Cabré-Riera A, Torrent M, Donaire-Gonzalez D, Vrijheid M, Cardis E, Guxens M (2019): **Telecommunication devices use, screen time and sleep in adolescents.** Environ Res. 2019 Apr;171:341-347. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30716511>

Foerster M, Henneke A, Chetty-Mhlanga S, Rösli M (2019): **Impact of Adolescents' Screen Time and Nocturnal Mobile Phone-Related Awakenings on Sleep and General Health Symptoms: A Prospective Cohort Study.** Int J Environ Res Public Health. 2019 Feb 12;16(3).

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30759792>

Harrington SC, Stack J, O'Dwyer V (2019): **Risk factors associated with myopia in schoolchildren in Ireland.** Br J Ophthalmol. 2019 Feb 11. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30745305>

Liu S, Wing YK, Hao Y, Li W, Zhang J, Zhang B (2019): **The associations of long-time mobile phone use with sleep disturbances and mental distress in technical college students: a prospective cohort study.** Sleep. 2019 Feb 1;42(2). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30395300>

Loughran SP, Verrender A, Dalecki A, Burdon CA, Tagami K, Park J, Taylor NAS, Croft RJ (2019): **Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure and the Resting EEG: Exploring the Thermal Mechanism Hypothesis.** Int J Environ Res Public Health. 2019 Apr 28;16(9).

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31035391>

Ra CK, Cho J, Stone MD, De La Cerda J, Goldenson NI, Moroney E, Tung I, Lee SS, Leventhal AM (2018): **Association of Digital Media Use With Subsequent Symptoms of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Among Adolescents.** JAMA. 2018 Jul 17;320(3):255-263.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30027248>

Shahin NN, El-Nabarawy NA, Gouda AS, Mégarbane B (2019): **The protective role of spermine against male reproductive aberrations induced by exposure to electromagnetic field - An experimental investigation in the rat.** Toxicol Appl Pharmacol. 2019 May 1;370:117-130. Epub 2019 Mar 13.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30878504>

Tsarna E, Reedijk M, Birks LE, Guxens M, Ballester F, Ha M, Jiménez-Zabala A, Kheifets L, Lertxundi A, Lim HR, Olsen J, González Safont L, Sudan M, Cardis E, Vrijheid M, Vrijkotte T, Huss A, Vermeulen R (2019): **Associations of Maternal Cell-Phone Use During Pregnancy With Pregnancy Duration and Fetal Growth in 4 Birth Cohorts.** Am J Epidemiol. 2019 Jul 1;188(7):1270-1280.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30995291>

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 \(als pdf\)](#)