

Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien

Im Zeitraum Mitte Oktober 2016 bis Ende Januar 2017 wurden 83 neue Publikationen identifiziert, von denen 15 von BERENIS vertieft diskutiert wurden. Sechs davon wurden gemäss den Auswahlkriterien als besonders relevant und somit zur Bewertung ausgewählt und werden im Folgenden zusammengefasst.

1) Experimentelle Tier- und Zellstudien

Langzeitexposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und Effekte im Gehirn von Mäusen (Kim et al. 2017)

In dieser *in vivo* Studie wurden Effekte von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) auf neuronale Reaktionen in der Grosshirnrinde (Cortex cerebri) bei Mäusen untersucht. Die Grosshirnrinde ist bedeutend für Funktionen wie Hören, Empfindung, Riechen, Orientierung und Bewegung, sowie für Funktionen, die mit dem Verstand erfasst werden wie Wahrnehmung, Gedächtnis und Aufmerksamkeit. Männliche Mäuse des Stammes C57BL wurden während 12 Wochen für fünf Stunden pro Tag bei 835 MHz exponiert (Sinuswelle, SAR: 4 W/kg). Die Experimente wurden unter kontrollierten Bedingungen (Temperatur, Luft, Licht) und verblindet durchgeführt. Neben verschiedenen Verhaltensuntersuchungen wurden ebenfalls verschiedene Biomarker für Autophagie¹ und Apoptose (programmierter Zelltod) untersucht. Weiterhin wurde das Mass der Demyelinisierung bzw. der Myelinschädigung der Nervenleitbahnen, wie sie z.B. bei Patienten mit multipler Sklerose vorkommt, beobachtet. Myelin ist wichtig für die Entwicklung und Funktion des Nervensystems. Die Ergebnisse zeigten eine erhöhte Rate von Autophagie nach HF-EMF-Exposition, während zwischen Kontrolltieren und exponierten Tieren kein Unterschied bei den Apoptose-Markern beobachtet wurde. Zudem wiesen exponierte Mäuse Myelinschädigungen auf, die mit einer Hyperaktivität der Tiere einhergingen. Diese neurologischen Verhaltensstörungen der Tiere wurden wahrscheinlich durch die Demyelinisierung der Neuronen nach Exposition von 12 Wochen induziert. Die Autoren deuten die erhöhte Autophagie als Schutzmechanismus der neuronalen Zellkörper in der Hirnrinde. Ein Übersichtsartikel aus dem Jahr 2014² beschreibt ebenfalls Myelinisierungs-Defekte bei Ratten nach Hochfrequenz-Exposition.

Statische Magnetfelder und Regulation des Photorezeptors Cryptochrom bei Fliegenlarven (Giachello et al. 2016)

Cryptochrom (CRY) ist ein Blaulichtrezeptor. Dieses Protein ist zentral für die Regulierung des tagesperiodischen Rhythmus. CRY spielt auch bei Funktionen wie dem Magnetsinn, der Modulierung von neuronaler Aktivität, der Phototransduktion, und der Regulierung synaptischer Plastizität eine

¹ Autophagie bedeutet ‚selbst fressen‘ und schützt die Zelle vor Funktionsstörungen, indem defekte oder gar schädigende Zellbestandteile oder Infektionserreger in spezialisierten Zellorganellen abgebaut und in den Zellstoffwechsel zurückgeführt werden. Übermässig beanspruchte oder fehlerhafte Autophagie kann zu Krankheiten führen.

² Redmayne M, Johansson O (2014): **Could myelin damage from radiofrequency electromagnetic field exposure help explain the functional impairment electrohypersensitivity? A review of the evidence.** J Toxicol Environ Health B Crit Rev 2014; 17 (5): 247 – 258. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25205214>

Rolle. Es ist bekannt, dass viele Tiere das Erdmagnetfeld wahrnehmen können und sich dadurch orientieren und navigieren. Man nimmt an, dass die Grössenordnung und Richtung des Erdmagnetfelds die Aktivität von CRY moduliert, indem es photochemische Radikalpaar-Zwischenprozesse im Protein beeinflusst. Die Rolle von CRY als Magnetorezeptor wird immer noch kontrovers diskutiert, da experimentelle Beweise für eine Erhöhung der neuronalen Aktivität durch Magnetfeldexposition fehlen. In dieser *in vitro* / *ex vivo* Studie wurden darum CRY-abhängige Effekte von statischen Magnetfeldern (100 mT) auf Motoneuronen von Fruchtfliegenlarven untersucht. Mittels elektrophysiologischer Methoden konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass ein Magnetfeld von 100 mT die neuronale Aktivität von licht-aktiviertem CRY potenziert. Eine Region (C-Terminus) im CRY, die für die Potenzierung notwendig ist, konnte identifiziert werden. Somit gibt es nun tatsächlich einen Beweis dafür, dass erstens die biologische Aktivität von CRY sensitiv durch Magnetfelder beeinflusst wird und zweitens das externe Magnetfeld das Verhalten von Tieren über CRY beeinflussen kann. Die Befunde stärken die Beweislage, dass die neuronale Aktivität von photo-aktiviertem CRY und somit die Orientierung von Tieren durch Magnetfelder moduliert wird.

Die Exposition sowie die Durchführung der Experimente sind gut beschrieben und damit liefert dieses Experiment den direkten Beweis für CRY als Magnetorezeptor bei Fruchtfliegen.

Hochfrequente elektromagnetische Felder beeinflussen die Dynamik und Effizienz der Genom-Reparatur (Sun et al. 2016)

In dieser innovativen *in vitro* Studie berichten Sun *et al.* (2016) über einige bemerkenswerte Beobachtungen bezüglich der Wirkung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) auf das Genom und dessen Kontrollmechanismen. Die Autoren exponierten Bindegewebszellen von Mäusen (embryonale Fibroblasten) mit einem GSM-modulierten HF-EMF (1800 MHz, SAR 4 W/kg, Intervalle mit 5/10 Minuten an/aus). Im zeitlichen Verlauf der Exposition (1, 12, 24, 36 Stunden) wurden dann Einzel- und Doppelstrangbrüche in der Erbsubstanz (DNS) sowie Biomarker für Genomreparaturaktivitäten und Zellvermehrung analysiert und mit parallel kultivierten Kontrollzellen verglichen. Zudem wurden die gleichen Analysen auch in Bindegewebszellen durchgeführt, denen das Protein ATM fehlt. Dieses spielt eine zentrale Rolle für die Erkennung und Reparatur von Genomschäden und das Auslösen von Signal-Kaskaden, die fatalen Konsequenzen wie beispielsweise krebsauslösenden Mutationen entgegenwirken. Mutationen in diesem Gen sind die Ursache einer seltenen Erbkrankheit beim Menschen, bekannt als das Louis-Bar-Syndrom oder *Ataxia teleangiectatica*. Das Ausfallen der wichtigen regulierenden Kontrollfunktion des ATM-Proteins führt bei den Patienten zu einer Vielzahl von Symptomen wie Neurodegeneration, verminderter Immunkompetenz und erhöhtem Krebsrisiko. Zellen, denen das ATM-Protein fehlt, haben typischerweise erhöhte Grundwerte von DNS-Schäden, höhere Mutationsraten und eine veränderte Zellantwort auf genotoxische Einflüsse. Nach einstündiger Exposition haben die Autoren eine vorübergehende Zunahme von Einzelstrangbrüchen in normalen Zellen festgestellt, die aber nach 12 und 24 Stunden nicht mehr nachweisbar und nach 36 Stunden sogar signifikant tiefer war, während keine Unterschiede bei Doppelstrangbrüchen gefunden wurden. Im Gegensatz dazu wurden in den ATM-mutierten Zellen keine Unterschiede nach einer Stunde, aber eine vorübergehende Zunahme von Einzelstrang- (nach 12 Stunden) und von Doppelstrang-Brüchen (nach 12 und 24 Stunden) beobachtet, einhergehend mit erhöhten Zeichen von Reparaturaktivitäten. Dies deutet auf eine verzögerte Zellantwort auf Bestrahlung hin, die aber schliesslich auch zu einer reduzierten Genomschädigung nach 36 Stunden Bestrahlung führte. Die Autoren spekulieren, dass ihre Beobachtungen auf Hormesis hindeuten, was eine nicht-lineare Abhängigkeit des Effekts von der kumulativen Dosis bezeichnet. Diese Sonderform der adaptiven Zellreaktion auf externe Einflüsse wurde beispielsweise für Medikamente, genotoxische Chemikalien und auch leicht erhöhte radioaktive Strahlung beschrieben,

gilt zumindest für letzteres aber nicht als etabliert. Eine solche Reduktion der Zelleffekte wird im Allgemeinen dadurch erklärt, dass eine schwache Exposition gewisse Kompensationsmechanismen – in diesem Fall erhöhte Genomreparaturaktivitäten – in Gang setzt, was dann dazu führt, dass die Zellen weniger sensitiv auf höhere Dosen sind oder schneller und besser darauf reagieren können. Dies führt wiederum dazu, dass die Effekte abgeschwächt oder sogar überkompensiert werden. Um diesen Hormesis-Effekt der HF-EMF-Exposition zu untermauern haben die Autoren die gleichen Experimente mit tiefen Dosen von bekannten gentoxischen Chemikalien (4-Nitroquinoline 1-Oxid, H₂O₂) in beiden Zelltypen durchgeführt, und vergleichbare Überkompensationen festgestellt.

Ob sich dies langfristig positiv oder negativ auf die Gesundheit auswirkt, lässt sich basierend auf einer solchen *in vitro* Studie nicht beurteilen. Ausserdem wurde nur ein relativ hoher SAR-Wert (4 W/kg) untersucht, so dass offen bleibt, ob Hormesis auch bei relevanteren Expositions-Szenarien beobachtet werden könnte.

2) Epidemiologische Studien

Exposition von Jugendlichen in der Schweiz mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (Roser et al. 2017)

Jugendliche benutzen besonders häufig drahtlose Kommunikationstechnologien, jedoch ist über ihre Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) bisher nur wenig bekannt. Die Studie von Roser *et al.* (2017) hatte zum Ziel, die HF-EMF-Exposition von 90 Jugendlichen aus der HERMES-Studie im Alter von 13-17 Jahren in der Zentralschweiz zu bestimmen. Dazu wurden von Mai 2013 bis April 2014 persönliche Messungen mit tragbaren Messgeräten (Expom-RF) durchgeführt. Die Studienteilnehmer trugen das Messgerät zwei bis drei Tage mit sich und führten während dieser Zeit Tagebuch über ihre Tätigkeiten. Zudem wurden die GPS-Koordinaten der jeweiligen Aufenthaltsorte vom Messgerät aufgezeichnet. Die mittlere HF-EMF-Exposition betrug 0.15 V/m (maximal: 0.51 V/m). Den grössten Anteil an der gemessenen Exposition hatten Mobiltelefone (67%, eigenes und fremde Mobiltelefone) und Mobilfunkbasisstationen (20%). WLAN trug 3.5% zur durchschnittlichen HF-EMF-Exposition bei. Am höchsten war die Exposition in Autos (Gesamt: 0.56 V/m, davon 0.10 V/m von Mobilfunkbasisstationen), in Bussen (0.50, 0.15 V/m) und in Zügen (0.45, 0.18 V/m). Die mittlere Exposition zuhause betrug 0.11 V/m (Mobilfunkbasisstationen: 0.06 V/m), in Schulen 0.15 V/m (0.04 V/m), und im Freien 0.24 V/m (0.14 V/m). Um die durchschnittliche absorbierte Strahlung zu berechnen wurden diese Messdaten mit Angaben zur durchschnittlichen Nutzung von drahtlosen Kommunikationsgeräten kombiniert. Die Dosisberechnungen ergaben, dass die Strahlung von eigenen Geräten 94% der gesamten vom Hirn absorbierten HF-EMF-Strahlung ausmacht, und 91% der vom gesamten Körper absorbierten Strahlung.

Diese Studie zeigt, dass der grösste Teil der HF-EMF-Exposition „selbstgemacht“ ist, vor allem durch Mobiltelefone. Nicht nur die Dauer der Nutzung, sondern auch die Qualität der Verbindungen sind wichtige Faktoren, die zur kumulativen HF-EMF-Dosis beitragen. Je besser die Verbindung, desto geringer die Strahlung des Mobiltelefons.

Mobiltelefonnutzung in England von 1985-2014 und Auftreten bestimmter Gehirntumorarten (de Vocht 2016)

Die Nutzung von Schnurlos- und Mobiltelefonen ist heutzutage sehr weit verbreitet. Falls dadurch das Risiko an einem Gehirntumor zu erkranken erhöht werden würde, wäre zu erwarten, dass die Fallzahlen in den letzten zehn Jahren zugenommen hätten. Ziel der Studie von de Vocht (2016, plus corrigendum) war diese Hypothese zu überprüfen. Dazu wurde das Auftreten bestimmter Gehirntumorarten in England zwischen 1985 und 2014 mithilfe eines Bayesschen Struktur-Zeitreihenansatzes ausgewertet. Die jährlichen Fallzahlen der folgenden Tumorarten wurden dabei berücksichtigt: unspezifische maligne Neoplasmen des Gehirns, Glioblastoma multiforme, sowie maligne Neoplasmen des Schläfen- und des Scheitellappens. Die Datenquelle war dabei die nationale Statistikbehörde (Office of National Statistics). Der Effekt der Mobilfunknutzung auf Veränderungen in Gehirntumor-Fallzahlen wurde aus den Unterschieden zwischen erhobenen und modellierten Daten-Zeitreihen abgeleitet. Die modellierte Fallzahl schloss folgende Faktoren ein: das Auftreten aller Krebsarten, die Bevölkerungsgrösse, das Durchschnittsalter (Median) der Bevölkerung, die Anzahl der Zigarettenraucher, die Verstädterungsrate und ein Qualitätsmass für die Kodierung der Krebsart. Es wurde kein Zusammenhang zwischen der Zunahme der Mobilfunkverträge und der zeitlichen Veränderungen hinsichtlich des Auftretens unspezifischer Neoplasmen des Gehirns und Glioblastoma multiforme festgestellt. Es bestand ein negativer Zusammenhang zwischen malignen Neoplasmen des Scheitellappens und der zeitlichen Entwicklung von Mobilfunkverträgen. Für maligne Neoplasmen des Schläfenlappens und eine Latenzzeit von 10 Jahren deuteten die Daten-Zeitreihen auf ein 1.35-fach erhöhtes Risiko (95% CI: 1.09-1.59) hin, nicht aber bei einer Latenzzeit von 15 Jahren. Bei der Nutzung von Schnurlos- und Mobiltelefonen ist der Schläfenlappen am stärksten exponiert. Gemäss den Autoren würde die beobachtete Risikozunahme in England jedes Jahr zu 188 zusätzlichen Krebsfällen führen.

Diese einfache Studie hat einige Schwächen. Dazu gehören beispielsweise das Fehlen von individuellen Expositionsdaten, und eine selektive Auswahl der Erkrankungsdaten. Es bleibt unklar, warum der Schwerpunkt auf unspezifischen Diagnosen lag. Gerade diese Diagnosegruppe ist stark von Veränderungen in der Diagnose- und Kodierungspraxis betroffen. Mit der Einführung von verbesserten Diagnosetechniken in den vergangenen 20 Jahren könnte sich beispielsweise die Kodierung der Lokalisierung im Gehirn im Laufe der Zeit geändert haben. Das würde die Auswertungen beeinflussen. Es erscheint nicht plausibel, dass ein erhöhtes Risiko nur auf eine Latenzzeit von 10 Jahren beschränkt sein soll. Dies könnte auf einen Verzerrungseffekt durch andere Langzeittrends hindeuten, wie beispielsweise die zunehmende Lebenserwartung der Bevölkerung. Zwar wurde in der Modellierung der Median der Altersverteilung berücksichtigt. Dieser ist aber kein geeignetes Mass, um das Bevölkerungswachstum in den älteren Bevölkerungsgruppen zu erfassen, die das höchste Risiko für Gehirntumorbildung aufweisen. Generell wäre die Studie informativer, wenn Ergebnisse für alle Arten von Gehirntumoren dargestellt wären, da dies eine systematische Evaluierung der Zeitentwicklungsmuster hinsichtlich der Exposition unterschiedlicher Gehirnregionen ermöglichen würde.

Personalisierte Expositions-Tests für Menschen mit elektromagnetischer Hypersensibilität (van Moorselaar et al. 2016)

In dieser Studie testeten van Moorselaar *et al.* (2016) einen neuen Ansatz, um Menschen mit elektromagnetischer Hypersensibilität (EHS) zu behandeln. Die Autoren führten dabei individualisierte Provokations-Tests mit elektrosensiblen Personen in deren Wohnung durch, was bei früheren Studien mit EHS-Betroffenen nicht der Fall war. Insgesamt nahmen 42 Personen (Durchschnittsalter: 55 Jahre)

an der Studie teil, dieangaben, entweder hoch- oder niederfrequente Strahlung innerhalb weniger Minuten wahrnehmen zu können. Die Studienteilnehmer wurden in ihren Wohnungen mit einem mobilen Expositions-Gerät getestet. Zunächst wurde zusammen mit den Teilnehmern die Expositionsart und -Dauer bestimmt, auf die sie reagierten. Dabei wurde den Teilnehmern jeweils gesagt wie stark und mit welcher Frequenz das mobile Expositionsgerät sendet. Dann wurden 10 doppelblinde Tests durchgeführt, davon zufällig 3-7 Expositionen mit bzw. ohne EMF (maximal 15 Minuten pro Exposition). Die Teilnehmer mussten dabei angeben, ob das elektromagnetische Feld jeweils gerade an- oder abgeschaltet war. Die Ergebnisse wurden den Studienteilnehmern unmittelbar nach dem Versuch mitgeteilt. 38 Teilnehmer wollten die Tests mit hochfrequenten Feldern mit einer Stärke zwischen 0.2 und 6 V/m durchführen (Median: 0.44 V/m). Vier Teilnehmer bevorzugten einen Test mit niederfrequenter Exposition im Bereich zwischen 0.15 und 6.6 μ T. Die Teilnehmer waren bei den doppelblind durchgeführten Tests nicht in der Lage festzustellen, ob sie exponiert waren oder nicht. Im Durchschnitt lagen die Probanden mit ihrer Einschätzung in 48% der Fälle richtig. Vier Monate nach den Tests gaben die Teilnehmer an, dass der Grad ihrer Elektrosensibilität unverändert geblieben ist. Sie waren sich zu diesem Zeitpunkt jedoch weniger sicher, innerhalb weniger Minuten auf EMF-Exposition zu reagieren. Auch die Anzahl der Symptome und der Schweregrad der Symptome war signifikant geringer als zu Beginn der Studie. Dies könnte darauf hinweisen, dass einige der Betroffenen von einer personalisierten EMF-Testmethode profitieren.

Eine Stärke dieser Studie ist, dass gemeinsam mit jedem Teilnehmer ein individuell abgestimmtes Testsignal bestimmt wurde. Möglich war dies durch eine mobile Testausrüstung, die eine grosse Bandbreite von EMF-Signalen erzeugen konnte. Da eine Kontrollgruppe nicht vorhanden war kann nicht evaluiert werden, ob die beobachtete Abnahme von Symptomen innerhalb von vier Monaten auf die Teilnahme an der Studie zurückzuführen ist oder nicht. Dessen ungeachtet handelt es sich um einen innovativen Ansatz, der elektrosensiblen Menschen helfen kann, die nach eigenen Angaben innerhalb kurzer Zeit auf EMF-Exposition reagieren. Es wäre deshalb nützlich in Erfahrung zu bringen wie geeignet solche individualisierten Tests langfristig sind, und welche EHS-Betroffenen am meisten davon profitieren könnten.

Die BERENIS Gruppe erachtet es als wichtig, dass nicht nur Kausalzusammenhänge, sondern vor allem auch Diagnose- und Behandlungsansätze für elektromagnetisch hypersensible Personen untersucht werden. Der Leidensdruck von elektrosensiblen Patientinnen und Patienten ist sehr hoch und eine ganzheitlich ärztliche Beratung wichtig. In der Schweiz hat man seit 2001 Erfahrungen mit umfassenden medizinischen, psychologischen und umweltbezogenen Abklärungen gemacht. Die Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz (www.aefu.ch) führten zwischen 2008 bis 2011 eine in den Praxisalltag integrierte umweltmedizinische Abklärung durch und bieten seither einen umweltmedizinischen Beratungsdienst an. Aus Sicht der BERENIS ist es notwendig und wichtig, elektromagnetisch hypersensible Personen mit evidenzbasierten Therapiekonzepten unterstützen zu können.

Literaturangaben

de Vocht F (2016): **Inferring the 1985-2014 impact of mobile phone use on selected brain cancer subtypes using Bayesian structural time series and synthetic controls**. Environ Int. 2016 Dec;97:100-107. Epub 2016 Nov 9. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27835750>

de Vocht F (2017): **Corrigendum to "Inferring the 1985-2014 impact of mobile phone use on selected brain cancer subtypes using Bayesian structural time series and synthetic controls"**

[**Environ. Int.** (2016), **97**, 100-107]. Environ Int. 2017 Jan 25.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28131518>

Giachello CN, Scrutton NS, Jones AR, Baines RA (2016): **Magnetic Fields Modulate Blue-Light-Dependent Regulation of Neuronal Firing by Cryptochrome.** J Neurosci. 2016 Oct 19;36(42):10742-10749. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27798129>

Kim JH, Yu DH, Huh YH, Lee EH, Kim HG, Kim HR (2017): **Long-term exposure to 835 MHz RF-EMF induces hyperactivity, autophagy and demyelination in the cortical neurons of mice.** Sci Rep. 2017 Jan 20;7:41129. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28106136>

Roser K, Schoeni A, Struchen B, Zahner M, Eeftens M, Fröhlich J, Rösli M (2017): **Personal radiofrequency electromagnetic field exposure measurements in Swiss adolescents.** Environ Int. 2017 Feb;99:303-314. Epub 2016 Dec 27. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28038972>

Sun C, Wei X, Fei Y, Su L, Zhao X, Chen G, Xu Z (2016): **Mobile phone signal exposure triggers a hormesis-like effect in Atm+/+ and Atm-/- mouse embryonic fibroblasts.** Sci Rep. 2016 Nov 18;6:37423. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27857169>

van Moorselaar I, Slottje P, Heller P, van Strien R, Kromhout H, Murbach M, Kuster N, Vermeulen R, Huss A (2016): **Effects of personalised exposure on self-rated electromagnetic hypersensitivity and sensibility - A double-blind randomised controlled trial.** Environ Int. 2016 Dec 9. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27939951>

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 \(als pdf\)](#)