

Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien

Im Zeitraum Ende April bis Anfang August 2018 wurden 57 neue Publikationen identifiziert, von denen acht von BERENIS vertieft diskutiert wurden. Drei davon wurden gemäss den Auswahlkriterien als besonders relevant und somit zur Bewertung ausgewählt und werden im Folgenden zusammengefasst.

1) Experimentelle Tier- und Zellstudien

50 Hz magnetische Felder beeinträchtigen kognitive und motorische Fähigkeiten von Honigbienen (Shepherd et al. 2018)

In der Studie von Shepherd *et al.* (2018) wurden Honigbienen niederfrequenten Magnetfeldern (NF-MF) (50 Hz) mit Intensitäten um 20-100 μT und 1000-7000 μT ausgesetzt, wie sie bei Hochspannungsleitungen in Bodennähe bzw. in unmittelbarer Nähe der Leiterseile anzutreffen sind. Lernen und Gedächtnis wurden mittels der Rüsselverlängerungsreaktion der Bienen bezüglich Glukose getestet (Geruchslernen). Kurzzeitige Exposition von einer Minute zeigte eine intensitätsabhängige Beeinträchtigung des Lernverhaltens. Die Beeinträchtigung war auch eine Stunde nach der Exposition noch sichtbar. Um die Auswirkung der Felder auf das Flugverhalten zu untersuchen, wurden die Änderungen der Flügelschlagfrequenz im Fesselflug gemessen. Es zeigte sich eine intensitätsabhängige Erhöhung der Flügelschlagfrequenz, wobei sich diese nur bei der höchsten Intensität (7000 μT) von den nichtexponierten Kontrollbienen signifikant unterschied. Die Auswirkungen von 100 μT Magnetfeldern auf die Nahrungssuche wurden im Flugtunnel untersucht, wobei die ausgehenden Flüge (jedoch nicht die Rückkehr) beeinträchtigt waren.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass NF-MF (50 Hz), die von Hochspannungsleitungen resultieren, einen Umweltstressor für Honigbienen darstellen könnten, mit potenziellen Auswirkungen auf ihre kognitiven und motorischen Fähigkeiten. Dies könnte auch die Bestäubung beeinträchtigen. Die Wirkungsmechanismen sind allerdings unklar, wobei unter anderem das magnetosensitive System der Bienen involviert sein könnte. Weitere Studien sind erforderlich, um die Wirkungsmechanismen genauer zu eruieren und die hier gemachten Beobachtungen zu verstehen.

Magnetorezeption – Über den Einfluss von schwachen statischen Magnetfeldern auf biologische Prozesse (Zwang et al. 2018)

Die Studie von Zwang *et al.* (2018) untersucht ein mögliches Konzept der Magnetorezeption, also der Fähigkeit ein Magnetfeld (MF) wahrzunehmen. Während es unbestritten ist, dass einige Tierarten wie beispielsweise Zugvögel die Fähigkeit haben, das schwache Erdmagnetfeld wahrzunehmen und zur Navigation zu verwenden, sind der Mechanismus bzw. das Wahrnehmungsorgan für Magnetfelder nach wie vor weitgehend spekulativ. Als Möglichkeiten wurden eisenhaltige Nanopartikel sowie magnetsensitive biochemische Prozesse, die Paarungen von Radikalen (besonders reaktive Moleküle mit ungepaarten Elektronen) beinhalten, vorgeschlagen. Hinsichtlich des letzteren Mechanismus steht der Photorezeptor Cryptochrom im Fokus (siehe [BERENIS Newsletter Nr. 13 - März 2018](#)), wobei die biochemischen Prozesse und die Integration in die Regelmechanismen der Zellen noch unklar sind. Genau hier setzt die Publikation von Zwang *et al.* (2018) an, indem die Autoren in einem komplett zellfreien und gut kontrollierten System mittels aufgereinigter Biomoleküle den Einfluss von schwachen statischen Magnetfeldern auf eine

enzymatische Reaktion untersuchen. Dazu wurde ein kurzes Stück DNS mit einer spezifischen Schädigung (chemische Verbindung von Pyrimidin-DNS-Basen – Thymin und Cytosin), die durch die Bestrahlung mit UV-C entsteht, auf einen Mikro-Chip mit Elektroden aufgebracht. Solche Thymin-Dimere werden in Bakterien durch die sogenannten Photolyasen, die mit den Cryptochromen der höheren Lebewesen verwandt sind, in einer lichtabhängigen Reaktion repariert. Beide können blaues Licht absorbieren und die Energie dazu nutzen, Elektronen von einem Molekül aufs nächste zu verschieben, wobei es zur Paarung von Radikalen kommt. Dabei wird das Elektron auf den reduzierten Flavin-Co-Faktor (FAD, Flavin-Adenosin-Dinukleotid) übertragen, das dann im Fall der Photolyasen auf das Thymin-Dimer übergeben wird, um den Schaden zu beheben, bevor es wieder auf das Flavin zurückgeht. In aufwendigen Kontrollexperimenten konnten die Autoren nun zeigen, dass sie mit ihrem Mikrochip diesen Reparaturvorgang verfolgen können, und dass die Effizienz dieses Prozesses durch schwache statische Magnetfelder beeinflusst wird. Dabei wurde festgestellt, dass bereits ein Magnetfeld von 0.6 Gauss (60 μ T), entsprechend dem 1.5-fachen des Erdmagnetfelds am Ort wo das Experiment durchgeführt wurde, die Reparatureffizienz der Thymin-Dimere reduzierte. Stärkere Magnetfelder bis 30 Gauss (3 mT) führten zu einer weiteren dosis-abhängigen Reduktion der Reaktion, während noch stärkere Felder keine weitere Verstärkung des Effekts zeigten. Zudem wurde untersucht, ob diese Reaktion und die Beeinflussung durch das MF auch bei den verwandten Cryptochromen funktioniert, bei denen man davon ausgeht, dass sie keine Rolle bei der Reparatur der Thymin-Dimere spielen, da sie kaum an die DNS binden. Dazu verkürzten die Autoren ein pflanzliches Cryptochrom bis auf die konservierte Region in den Photolyasen, und stellten dabei neben einer Reparaturaktivität auch wieder einen Einfluss des MF fest. Interessant waren auch die Beobachtungen, dass diese Reduktion nicht nur von der Feldstärke, sondern auch von der Feldrichtung abhängig war, und dass dieser Effekt nur auf dem Mikro-Chip wirksam war, wo alle DNS-Moleküle gleich ausgerichtet sind, aber nicht, wenn diese freischwimmend in Lösung waren. Eine weitere wichtige Schlussfolgerung der Autoren war, dass sich die magnet-sensitive Radikalen-Paarung in ihrem System nicht wie in der Hypothese vorgeschlagen auf dem Photolyse-Flavin-Komplex befindet, sondern im Thymin-Dimer selbst. Im letzten Schritt der Reparatur formen sich zwei Radikale auf den beiden fusionierten Basen, die dann bei der Rückgabe des Elektrons an das Flavin entweder zur Auftrennung und damit Reparatur führen, oder aber auf das ursprüngliche Thymin-Dimer zurückfallen. Die Autoren schlussfolgern, dass das Magnetfeld dieses Gleichgewicht zu Ungunsten der Thymin-Dimer-Reparatur verschiebt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass diese innovative Studie konzeptionelle Hinweise liefert, wie ein magnetischer Kompass von Lebewesen auf molekularer und biochemischer Ebene funktionieren könnte. Erstmals konnte dabei der Einfluss von schwachen Magnetfeldern direkt auf biologisch-relevante enzymatische Abläufe gezeigt werden, wo Radikal-Paarungs-Mechanismen eine Rolle spielen. Allerdings ist damit die Suche nach dem Magnetsensor oder dem Magnet-sensitiven biologischen Prozess nicht abschliessend geklärt. Es scheint eher unwahrscheinlich, dass ein biologischer Kompass auf den doch relativ gefährlichen UV-C-verursachten Schäden der Erbsubstanz basiert, und die dazu benötigten fixen molekularen Strukturen sind nicht bekannt. Hinsichtlich der noch nicht vollumfänglich verstandenen Rolle der Cryptochrome höherer Lebewesen bleibt noch viel Raum für weitergehende experimentelle Untersuchungen bezüglich der Funktionsweise und deren Beeinflussung durch zivilisationsbedingte elektromagnetische Felder.

2) Epidemiologische Studien

Mobilfunkstrahlung und Gedächtnisleistung bei Jugendlichen in der Schweiz (Foerster et al. 2018)

In der von Foerster *et al.* (2018) durchgeführten Studie wurde der Zusammenhang zwischen der HF-EMF-Exposition durch Mobiltelefone und der Gedächtnisleistung bei Jugendlichen untersucht. Die Studie knüpft an einen 2015 veröffentlichten Bericht an (Schoeni *et al.* 2015) und umfasst den doppelten Stichprobenumfang sowie neuere Informationen über die Absorption von elektromagnetischer Strahlung im Gehirn von Jugendlichen. Fast 700 Jugendliche im Alter von 12 bis 17 Jahren nahmen über einen Zeitraum von einem Jahr an der Studie teil. Die Teilnehmenden wurden in öffentlichen Schulen (7. bis 9. Klasse) in städtischen und ländlichen Gebieten der deutschsprachigen Schweiz rekrutiert. Die räumliche und verbale Gedächtnisleistung wurde mit standardisierten Computertests in einem Abstand von einem Jahr zwei Mal gemessen. Bei Zustimmung der Eltern und Jugendlichen wurden zudem die objektiven Mobiltelefonnutzungsdaten der Schweizer Mobilfunkanbieter für die ganze Studiendauer einbezogen. Die Strahlenexposition durch HF-EMF in der Umwelt wurde für den Schul- und Wohnort der Studienteilnehmenden individuell modelliert, und ein Teil der Jugendlichen nahm an einer persönlichen HF-EMF-Messstudie teil. Basierend auf diesen Nutzungs- und Expositionsdaten wurde die kumulative Strahlendosis (von Mobiltelefonen und anderen drahtlosen Kommunikationsgeräten) für das Gehirn und den ganzen Körper berechnet. Es zeigte sich, dass die kumulative Hirn-HF-EMF-Exposition durch Mobiltelefone über ein Jahr hinweg einen negativen Einfluss auf die Entwicklung der räumlichen Gedächtnisleistung bei Jugendlichen hatte. Damit bestätigt die Studie die Ergebnisse von 2015. Das figurale Gedächtnis ist hauptsächlich in der rechten Gehirnhälfte angesiedelt, und der Einfluss von HF-EMF war bei jenen Jugendlichen ausgeprägter, die ihr Mobiltelefon auch auf der rechten Seite des Kopfes benutzten (80% der Studienteilnehmer). Das verbale Gedächtnis ist eher in der linken Gehirnhälfte angesiedelt. Bei den Jugendlichen, die ihr Mobiltelefon auch auf der linken Kopfseite nutzen, wurde tendenziell ein negativer Effekt auf die Entwicklung der verbalen Gedächtnisleistung beobachtet, basierend auf den Nutzungsdaten von den Mobilfunkbetreibern beobachtet. Andere Aspekte der drahtlosen Kommunikation wie das Senden von Textnachrichten, Spielen oder Surfen im Internet verursachen nur eine geringe Strahlenbelastung des Gehirns und zeigten keinen Zusammenhang mit der Entwicklung der Gedächtnisleistung.

Die Seitenabhängigkeit der Ergebnisse und nicht vorhandene Korrelationen in Bezug auf das Versenden von Textnachrichten, Spielen oder Surfen im Internet deuten darauf hin, dass vom Gehirn absorbierte elektromagnetische Strahlung für die beobachteten Zusammenhänge verantwortlich ist. Dabei spielt vor allem der Strahlungsbeitrag von Telefonaten mit dem eigenen Mobiltelefon eine Rolle, während der Dosisbeitrag von Mobilfunkbasisstationen und WLAN gering ist. Dies ist weltweit die erste epidemiologische Studie, die Dosisberechnungen für das jugendliche Gehirn gemacht hat und dazu auch objektiv erhobene Nutzerdaten von Mobilfunkbetreibern verwendet hat. Die Effekte waren relativ gering, und der Wirkungsmechanismus ist nicht bekannt. Es kann also nicht ausgeschlossen werden, dass auch andere Faktoren eine Rolle gespielt haben, die nicht erfasst wurden. So könnten die Studienergebnisse beispielsweise durch die Pubertät beeinflusst worden sein, die sich sowohl auf die Mobiltelefonnutzung als auch auf das Verhalten und die kognitiven Fähigkeiten der Teilnehmenden auswirkt.

Eine [deutsch-/französischsprachige](#) Zusammenfassung der ganzen HERMES-Studie wurde kürzlich in der Schweizerischen Zeitschrift Primary and Hospital Care publiziert (Roser *et al.* 2018). Neben den hier beschriebenen Auswirkungen auf das Gedächtnis hat die HERMES-Studie auch mögliche Einflüsse auf das Verhalten, unspezifische Symptome und die Konzentrationsfähigkeit untersucht.

Literaturangaben

Foerster M, Thielens A, Joseph W, Eeftens M, Rösli M (2018): **A Prospective Cohort Study of Adolescents' Memory Performance and Individual Brain Dose of Microwave Radiation from Wireless Communication.** Environ Health Perspect. 2018 Jul 23;126(7):077007.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30044230>

Roser K, Schoeni A, Foerster M, Rösli M (2018): **Wie wirkt die Nutzung und die Strahlung von Mobiltelefonen auf Jugendliche? [Quels sont les effets de l'utilisation et du rayonnement des téléphones mobiles sur les jeunes?]** Primary and Hospital Care – Allgemeine Innere Medizin, 2018: 18(21): 386–388. <https://primary-hospital-care.ch/de/article/doi/phc-d.2018.01852/>

Schoeni A, Roser K, Rösli M (2015): **Memory performance, wireless communication and exposure to radiofrequency electromagnetic fields: a prospective cohort study in adolescents.** Environ Int. 2015 Dec;85:343-51. Epub 2015 Oct 30. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26474271>

Shepherd S, Lima MAP, Oliveira EE, Sharkh SM, Jackson CW, Newland PL (2018): **Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields impair the Cognitive and Motor Abilities of Honey Bees.** Sci Rep. 2018 May 21;8(1):7932. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29785039>

Zwang TJ, Tse ECM, Zhong D, Barton JK (2018): **A Compass at Weak Magnetic Fields Using Thymine Dimer Repair.** ACS Cent Sci. 2018 Mar 28;4(3):405-412. Epub 2018 Mar 7.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29632887>

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 \(als pdf\)](#)