

Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien

Im Zeitraum von Mitte Oktober 2020 bis Anfang Februar 2021 wurden 122 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 Humanstudien

Keine Beeinträchtigung der schlafabhängigen Gedächtniskonsolidierung durch 2.45 GHz Wi-Fi-Exposition (Bueno-Lopez et al. 2020)

Bueno-Lopez *et al.* (2020) untersuchten Auswirkungen einer einmaligen nächtlichen Wi-Fi-Exposition auf die schlafabhängige Gedächtniskonsolidierung und die damit verbundenen neurophysiologischen Korrelate. Dazu wurden Daten von dreissig gesunden jungen Männer analysiert, die an der Studie von Danker-Hopfe *et al.* (2020)¹ (siehe [Newsletter 23](#)) teilgenommen hatten. Diese wurden einer Wi-Fi- (2.45 GHz) oder Scheinexposition während des Schlafs ausgesetzt. Auf eine Kontrollnacht folgte jeweils eine Nacht mit Exposition (Real- oder Scheinexposition) und das Ganze wurde nach einer Woche mit der anderen Bedingung wiederholt (doppelblind und randomisiert). Der maximale zeitliche SAR_{10g} am Kopf war kleiner als 25 mW/kg und der zeitliche Mittelwert über 6 min war kleiner als 6.4 mW/kg. Es wurden deklarative (Wortpaar), emotionale (Gesichtserkennung) und prozedurale Gedächtnisleistungen (sequenzielles Finger-Tippen) gemessen. Weiter wurden lernassoziierte Schlaf-EEG-Parameter (EEG-Leistung für langsame Oszillationen [0.5-1 Hz] und Schlafspindeln [12-14 Hz und 11-16 Hz] im Non-REM-Schlaf) analysiert.

Die emotionale und prozedurale Gedächtnisleistung war durch die Wi-Fi-Exposition nicht beeinflusst. Bei der deklarativen Aufgabe war die Verbesserung der Gedächtnisleistung über die Nacht in der Wi-Fi-Bedingung etwas stärker ausgeprägt als in der Kontrollbedingung. Allerdings war keiner der Schlaf-EEG-Parameter durch die Exposition beeinflusst.

Da keiner der Schlaf-EEG-Parameter, von denen angenommen wird, dass sie mit dem Lernen zusammenhängen, beeinflusst wurde, könnte die etwas ausgeprägtere Verbesserung über die Nacht bei der Wortpaar-Assoziation unter Wi-Fi-Strahlung ein Zufallsergebnis sein. Jedenfalls hat die einmalige nächtliche Wi-Fi-Strahlung zu keiner Beeinträchtigung der kognitiven Leistungsfähigkeit geführt.

2) Epidemiologische Studien

Kohortenstudie zum Einfluss der Exposition durch Mobiltelefone auf die Fruchtbarkeit und Spermienqualität (Hatch et al. 2021)

Um den Einfluss von HF-EMF-Exposition auf die Fruchtbarkeit und die Spermienqualität zu untersuchen, haben Hatch *et al.* (2021) Daten aus zwei zwischen 2012 und 2020 durchgeführten präkonzeptionellen prospektiven Kohortenstudien aus Dänemark und Nordamerika analysiert. Rund

¹ Danker-Hopfe H, Bueno-Lopez A, Dorn H, Schmid G, Hirtl R, Eggert T (2020): **Spending the night next to a router - Results from the first human experimental study investigating the impact of Wi-Fi exposure on sleep.** Int J Hyg Environ Health. 2020 May 11;228:113550. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32408065>

3'000 Männer wurden befragt, wie lange sie das Mobiltelefon pro Tag an welchen Körperstellen tragen. Die Zeit bis zur Schwangerschaft wurde bei den Partnerinnen mittels zweimonatlicher Folgefragebögen bis maximal 12 Monate bzw. bis zur gemeldeten Empfängnis erhoben. Insgesamt gab es wenig Hinweise, dass das Tragen eines Mobiltelefons in der vorderen Hosentasche die männliche Fertilität beeinflusste. Einzig bei unter- und normalgewichtigen Männern (BMI <25 kg/m²) ging das Tragen eines Mobiltelefons in der vorderen Hosentasche mit einer längeren Zeitspanne bis zu einer erfolgreichen Schwangerschaft einher, wobei eine Dosis-Wirkungs-Beziehung nicht ersichtlich war in Bezug darauf, wie lange das Handy in der vorderen Hosentasche getragen wurde. Die Analyse von knapp 800 Spermienproben bei einer Untergruppe ergab keinen Einfluss des Mobiltelefons in der vorderen Hosentasche auf die Spermienqualität (Volumen, Konzentration und Motilität).

Bei dieser Studie wurde eine Reihe von möglichen Störgrößen berücksichtigt: Ethnie, Bildung, männlicher und weiblicher BMI, Haushaltseinkommen, Häufigkeit des Geschlechtsverkehrs, Alter der Frauen sowie bei den Männern Angaben zum Rauchen, Schlaf, Arbeit, Alter, Vorgeschichte von sexuell übertragbaren Erkrankungen, körperliche Aktivität und Konsum von zuckerhaltigen Getränken. Zudem wurde die Exposition prospektiv erhoben. Damit ist diese Studie deutlich aussagekräftiger als alle bisherigen epidemiologischen Studien zur Spermienqualität. Das Resultat bei den schlanken Männern könnte ein Zufallsbefund sein. Die Autoren spekulieren aber auch, dass bei schlankeren Männern die Distanz zwischen Mobiltelefon und Hoden geringer sei und damit die Hoden stärker gegenüber HF-EMF exponiert seien als bei den anderen Studienteilnehmenden. Insgesamt ist die Expositionsquantifizierung eine Schwäche dieser Studie. Es gibt bisher keine Daten, welche den Expositionsbeitrag eines Mobiltelefons in der vorderen Hosentasche für die HF-EMF-Exposition der Geschlechtsorgane quantifizieren. Weiter ist zu beachten, dass die Studienteilnehmer die Spermienqualität mit einem Selbsttest-Kit zuhause prüften. Ob sich das negativ auf die Datenqualität auswirkte, ist unklar.

Gesundheitsbeschwerden im Zusammenhang mit HF-EMF von Mobilfunk-Basisstationen (Martin et al. 2021)

In einer Querschnittsstudie in fünf grossen Städten in Frankreich wurde zwischen 2015 und 2017 der Zusammenhang zwischen HF-EMF von Mobilfunkbasisstationen und unspezifischen Symptomen und Schlafproblemen untersucht. Insgesamt wurden 2'641 Erwachsene kontaktiert, die in Gebäuden im Hauptstrahl einer Mobilfunkbasisstation wohnten, und nicht mehr als 250 m davon entfernt waren. Die ausgewählten Mobilfunkbasisstationen mussten seit mehr als zwei Jahren in Betrieb sein, und durften zum Zeitpunkt ihrer Installation nicht Gegenstand von Einsprachen der Anwohner sein. Die 354 Personen, welche zur Studienteilnahme eingewilligt hatten, wurden telefonisch zu allgemeiner Umweltbesorgnis, Beschwerden im Zusammenhang mit Umwelteinflüssen, Ängsten sowie unspezifischen Symptomen und Schlafproblemen befragt. Bezüglich allgemeiner Umweltbesorgnis wurde das Kollektiv in drei Untergruppen unterteilt: besorgt, etwas besorgt, und Teilnehmende, welche sich selbst als uninformiert bezeichnen. Die HF-EMF-Exposition wurde an fünf Punkten in jeder Wohnung mit einem Breitband-Feldmessgerät (100 kHz - 6 GHz) gemessen, gefolgt von einer Spektralanalyse am Punkt der höchsten Exposition, um quellenspezifische Expositionsbeiträge zu erhalten. Die mediane Exposition durch Mobilfunk-Basisstationen betrug 0.27 V/m (0.44 V/m für die gesamte HF-EMF) und reichte von 0.03 V/m bis 3.58 V/m. Die Mobilfunkbasisstation war die Hauptexpositionsquelle für 64% der Wohnungen. Beim befragten Kollektiv wurde insgesamt kein Zusammenhang zwischen unspezifischen Symptomen oder Schlafproblemen und HF-EMF von der Basisstation beobachtet. Für Schlafprobleme zeigte sich eine signifikante Interaktion zwischen der HF-EMF-Exposition durch Mobilfunk-Basisstationen und der Umweltbesorgnis. Das Risiko für

Schlafprobleme stieg mit der HF-EMF-Exposition bei besorgten und uninformatierten Teilnehmenden an, nicht aber bei leicht besorgten Teilnehmenden.

Eine Stärke der Studie ist die Expositionsmessung in der Wohnung der Studienteilnehmenden. Es wurde eine geeignete Rekrutierungsstrategie gewählt, um den Expositionscontrast im Studienkollektiv zu maximieren. Infolgedessen waren die Expositionswerte durch Mobilfunkbasisstationen in dieser Studie etwas höher als in früheren ähnlichen Studien. Die relativ kleine Stichprobe, die geringe Teilnahmequote und das Querschnittsdesign schränken die Interpretation aber ein. Insgesamt deutet die Studie nicht auf einen Zusammenhang zwischen Symptomen und HF-EMF von Mobilfunkbasisstationen in der Gesamtbevölkerung hin. Sie weist jedoch auf eine positive Assoziation zwischen Schlafstörungen und Exposition bei der Untergruppe mit Umweltbesorgnis hin, sowohl in der Untergruppe mit allgemeiner Umweltsorge, als auch in der Untergruppe, die ihre Beschwerden Funk zuordnet. Diese beobachteten Interaktionen könnten einen Attributions-Bias widerspiegeln. Dies wäre der Fall, wenn einige besorgte Personen sich ihres höheren Expositionsstatus' bewusst waren und deshalb ihre Schlafprobleme gravierender einschätzten. Im Gegensatz dazu ist das erhöhte Risiko bei uninformatierten Teilnehmern interessant, da die Analyse bei diesen Personen wahrscheinlich nicht durch das Wissen um ihren Expositionsstatus verzerrt ist. Weitere Studien müssen bestätigen, ob diese Beobachtung kausal ist oder auf Zufall oder eine andere Art von Bias zurückzuführen ist.

3) Dosimetrische Studien

Simulationsstudie zum Eindringen von gepulsten Millimeterwellen (30-90 GHz) in den Gehörgang (Vilagosh et al. 2020)

In dieser Studie wurde die Kopplung von gepulsten elektromagnetischen Wellen im Frequenzbereich zwischen 30 und 90 GHz im Gehörgang des Menschen mittels numerischer Simulationen untersucht. Der Frequenzbereich von 30-90 GHz wird zunehmend für Anwendungen in der Fahrzeugtechnik, 5G-Mobilkommunikation und kleinräumigen lokalen Netzwerken in Betracht gezogen. Bei diesen Frequenzen werden elektromagnetische Wellen innerhalb der ersten Millimeter im Gewebe absorbiert. Im aktuellen Entwurf der ICNIRP-Empfehlungen für den Frequenzbereich 10-300 GHz konzentrieren sich die vorgeschlagenen Grenzwerte deshalb auf die Absorption in der Haut, im Auge und im Gehörgang. Die Grenzwerte werden bezüglich der Leistungsdichte der einfallenden Welle festgelegt.

Die Studie verwendet Simulationsmodelle des Gehörgangs einschliesslich des Trommelfells. Das Trommelfell ist stark durchblutet, enthält viele Nervenendigungen, und ist empfindlich in Bezug auf Entzündungen und mechanische Verletzungen. Die elektromagnetischen Wellen in der Simulation wurden als mit 100 Pikosekunden, respektive 20 Pikosekunden, gepulste Wellen aus jeweils einer von drei Einfallrichtungen (senkrecht zum Gehörgang, 30° von vorne und 45° von oben) modelliert. Der Gehörgang inklusive des Trommelfells und einem Teil des Innenohrs zusammen mit einem Teil der äusseren Strukturen wurde gemäss einer durchschnittlichen Anatomie modelliert. Die entsprechenden dielektrischen Gewebeeigenschaften wurden aus publizierten Daten abgeleitet.

Da der erste Teil des Gehörgangs als annähernd zylindrisch angenommen werden kann, kann die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Sinne eines zylindrischen Wellenleiters abgeschätzt werden. Daraus folgt, dass aufgrund der Abmessungen ein Eindringen der Wellen unterhalb 30 GHz ausgeschlossen werden kann. Oberhalb 30 GHz können sich Wellen innerhalb des Gehörgangs aber ausbreiten und ins Innere des Ohrs bis zum Trommelfell weitergeleitet werden.

Die Resultate der Studie zeigen den Zusammenhang zwischen der einfallenden Leistungsdichte am Eingang des Gehörgangs und am Trommelfell für die verschiedenen untersuchten Szenarien auf. Bei

einer senkrecht einfallenden gepulsten Welle bei 30 GHz erreichen nur 0.2% der einfallenden Leistungsdichte das Trommelfell. Bei 90 GHz sind es 13.8%. Für eine Leistungsdichte, wie sie für berufliche Exposition bei 90 GHz zulässig ist, wurde eine Temperaturerhöhung von 0.032°C (+20% / -50%) ermittelt. Die Autoren empfehlen, die Exposition des Trommelfells und der dahinterliegenden Strukturen für Frequenzen oberhalb 60 GHz genauer zu untersuchen und in die Festlegung der Grenzwerte miteinzubeziehen.

Bei der Studie handelt es sich um eine erste numerische Abschätzung der möglichen Auswirkungen der Exposition des Trommelfells gegenüber elektromagnetischen Wellen im Bereich oberhalb 10 GHz. Die Studie verwendet einen Ausschnitt des menschlichen Gehörgangs mit den darin enthaltenen Geweben als numerisches Modell. Die dielektrischen und thermischen Gewebeeigenschaften sind von den limitiert vorhandenen Daten abgeleitet. Die Studie ist sehr sorgfältig durchgeführt und betrachtet viele verschiedene Szenarien. In Folgestudien der Autoren wurden neue Verfahren zur Bestimmung der thermischen Gewebeeigenschaften im THz-Bereich evaluiert^{2,3}. Im Bereich der erwarteten Exposition der Öffentlichkeit ist gemäss den Autoren wahrscheinlich keine wesentliche Auswirkung auf die Gesundheit zu erwarten. Sie weisen jedoch darauf hin, dass bei höheren Leistungsdichten durchaus Auswirkungen auf das Innenohr zu erwarten sind.

Literaturangaben

Bueno-Lopez A, Eggert T, Dorn H, Schmid G, Hirtl R, Danker-Hopfe H (2020): **Effects of 2.45 GHz Wi-Fi exposure on sleep-dependent memory consolidation.** J Sleep Res. 2020 Nov 9:e13224.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33166026/>

Hatch EE, Willis SK, Wesselink AK, Mikkelsen EM, Eisenberg ML, Sommer GJ, Sorensen HT, Rothman KJ, Wise LA (2021): **Male cellular telephone exposure, fecundability, and semen quality: results from two preconception cohort studies.** Hum Reprod. 2021 Feb 10:deab001.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33564831/>

Martin S, De Giudici P, Genier JC, Cassagne E, Doré JF, Ducimetière P, Evrard AS, Letertre T, Ségala C (2021): **Health disturbances and exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile-phone base stations in French urban areas.** Environ Res. 2021 Feb;193:110583. Epub 2020 Dec 4.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33285159/>

Vilagosh Z, Lajevardipour A, Wood A (2020): **Computer simulation study of the penetration of pulsed 30, 60 and 90 GHz radiation into the human ear.** Sci Rep. 2020 Jan 30;10(1):1479.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32001770/>

Kontakt

Dr. Stefan Dongus
Sekretariat BERENIS
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut

² Vilagosh Z, Lajevardipour A, Appadoo D, Juodkakis S, Wood A (2021): **Using Attenuated Total Reflection (ATR) Apparatus to Investigate the Temperature Dependent Dielectric Properties of Water, Ice, and Tissue-Representative Fats.** Appl Sci 11: 2544. <https://doi.org/10.3390/app11062544>.

³ Vilagosh Z, Lajevardipour A, Appadoo D, Ng S, Juodkakis S, Wood A (2020): **Characterisation of Biological Materials at THz frequencies by Attenuated Total Reflection: Lard.** Appl Sci 10(23): 8692. <https://doi.org/10.3390/app10238692>.

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 \(als PDF\)](#)