

## Spotlight on EMF Research

# Spotlight on “Sex-dependent impact of perinatal 5G electromagnetic field exposure in the adolescent rat behavior” by Bodin et al. in Environmental Science and Pollution Research (2023)

Kategorie [Hochfrequente Felder, experimentelle Tierstudie]

Spotlight - Jul/2024 no.1 (Deu)

Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF)

## 1 Einordnung des Artikels in den Kontext durch das BfS

Die Frequenz von 3,5 GHz wird aktuell vermehrt in der fünften Generation des Mobilfunks (5G) eingesetzt. Früher wurde sie für Funkanwendungen wie z. B. WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) genutzt; diese Technologie hat sich aber nicht durchgesetzt. Deswegen liegen zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) dieser Frequenz weniger Forschungsergebnisse vor als zu den bisher für Mobilfunk oder anderen drahtlosen Netzzugangstechnologien genutzten niedrigeren Frequenzen. In den vorliegenden Untersuchungen an trächtigen Ratten und ihren Nachkommen [1] wurde der Einfluss von HF-EMF-Exposition bei 3,5 GHz während der Trächtigkeit der Muttertiere und nach Geburt auf die Entwicklung von Jungtieren untersucht.

## 2 Resultate und Schlussfolgerungen aus der Perspektive der Autoren

Jeweils sieben trächtige Ratten wurden randomisiert einer exponierten oder scheinexponierten Gruppe zugeordnet. Die HF-EMF-Exposition erfolgte mithilfe von vier Antennen, die über den Käfigen angeordnet waren und von einem Signalgenerator bei einer Frequenz von 3,5 GHz (nicht moduliert) gespeist wurden. Für die in den Messungen ermittelte einfallende elektrische Feldstärke von 62,2 V/m wurde in einem vereinfachten Mausphantom messtechnisch ein Ganzkörper-SAR-Wert von 0,07 W/kg bestimmt [2]. Dieser liegt geringfügig unter dem maximal zulässigen Wert für die Allgemeinbevölkerung (0,08 W/kg [3]). Die Exposition erfolgte 22 Stunden täglich vom Tag acht der Trächtigkeit bis zum Alter von 43 Tagen der Jungtiere. Alle Würfe wurden auf sechs Jungtiere – drei männliche und drei weibliche – vereinheitlicht. Die Tiere wurden pseudorandomisiert und im Alter von neun, 21 und 43 Tagen getötet – aus jedem Wurf jeweils ein Männchen und ein Weibchen. Bei den Jungtieren wurde das Wachstum, die körperliche und neuronale Entwicklung sowie die motorische Aktivität im “Open Field“-Test, einer verhaltensbiologischen

Versuchsordnung zur Messung der lokomotorischen Aktivität und der Erkundungsbereitschaft von Tieren, untersucht.

Die Exposition hatte keinen Einfluss auf die Muttertiere (Gewicht, Gewichtszunahme, Wasseraufnahme) und die Jungtiere bei Geburt (Anzahl, Gewicht, Geschlechtsverhältnis, Totgeburten). Die Gewichtszunahme, das Längenwachstum, das Öffnen der Augen und das Ablösen der Ohren waren von der Exposition unbeeinflusst. Die Zähne brachen bei exponierten Tieren beider Geschlechter einen Tag später als bei Kontrollen durch, wobei der Unterschied statistisch signifikant war.

Die Reflexe (Aufrichten aus Rückenlage, Festhalten an einem Draht, Tendenz, auf einem Gefälle nach oben zu klettern) waren bei allen Jungtieren im Alter von sieben Tagen wesentlich besser ausgeprägt als im Alter von drei Tagen. Eine Wirkung der Exposition wurde nicht festgestellt.

Der Open Field-Test wurde im Alter von 21 und 43 Tagen durchgeführt. Exponierte Weibchen hatten eine verringerte Gesamtaktivität. Bei unveränderter Horizontalbewegung zeigten exponierte Männchen mehr, exponierte Weibchen weniger stereotype Bewegungen im Vergleich zur Kontrolle. Als stereotyp werden Bewegungen bezeichnet, die wiederholt, ziel- oder zwecklos sind.

Nach Aussage der Autoren unterstützen diese Daten die Hypothese, dass sich eine 3,5 GHz-5G-Exposition bei SAR-Werten unterhalb des zulässigen Grenzwertes auf die Entwicklung von Ratten auswirkt.

### 3 Kommentare des BfS

Die Studie ist insgesamt gut durchgeführt, vor allem hinsichtlich der Randomisierung und des zeitlichen Ablaufs der Untersuchungen. Es wurden etablierte Methoden verwendet, um die Entwicklung der Jungtiere zu bewerten. Es bleibt jedoch fragwürdig, warum bei Messgrößen, die nicht vom Geschlecht abhängig waren, nur beim Steilhang-Test beide Geschlechter zusammen ausgewertet wurden. Bei konsequenter Zusammenlegung der Tiere hätte die statistische Power erhöht werden können. Die fehlende Verblindung während der Messungen könnte darüber hinaus zu einer Verzerrung bei der Datenauswertung geführt haben.

Die angegebene Feldstärke und die kalorimetrisch bestimmten SAR-Werte liegen in einem Bereich, in dem keine expositionsinduzierten Temperaturerhöhungen zu erwarten sind. Die Größenordnung der ermittelten Ganzkörper-SAR von 0,07 W/kg ist plausibel, auch wenn der angegebene Wert tendenziell etwas niedriger als der im Mittel zu erwartende Wert für Ratten mit einem Gewicht von 200-500 g bei den gegebenen Expositionsparametern (von oben einfallende ebene Welle, Frequenz: 3500 MHz, elektrische Feldstärke: 62 V/m) ist. Allerdings gilt diese Ganzkörper-SAR nur für die Muttertiere. Die bei kleinerer Körpergröße zu erwartende Ganzkörper-SAR der nach Geburt ebenfalls exponierten Jungtiere könnte aufgrund von Resonanzeffekten größer gewesen sein. Eine Untersuchung des Ausmaßes dieser Erhöhung wurde von den Autoren nicht berichtet; relevante expositionsinduzierte Körpertemperaturerhöhungen sind dennoch auch für die Jungtiere nicht zu erwarten.

Die statistische Auswertung von Zeitreihenmessungen erfolgte mittels Varianzanalyse, gefolgt von einem t-Test, falls die Varianzanalyse signifikante Ergebnisse zeigte. Eine Korrektur für multiples Testen wurde durchgeführt. Dadurch wurde die Wahrscheinlichkeit, falsch positive Ergebnisse zu erhalten, reduziert.

Bis zum Alter von neun Tagen standen jeweils 21 Männchen und 21 Weibchen zur Verfügung. Die Untersuchungen zu körperlicher Entwicklung und Verhalten wurden mit Ausnahme des Open Field-Tests bis zu diesem Zeitpunkt alle abgeschlossen. In den Abbildungen zu den Ergebnissen ist als Anzahl 7 pro Gruppe angegeben. Dabei handelt es sich vermutlich um die Zahl der Würfe, nicht die der untersuchten Tiere. Die Prozent-Angaben in Abbildung 4 deuten auf mindestens 14 Tiere pro Gruppe und Geschlecht hin. Je höher die Anzahl der untersuchten Tiere ist, umso höher ist die statistische Aussagekraft der Ergebnisse. Die Angaben in der Veröffentlichung sind diesbezüglich nicht eindeutig, allerdings wäre die Gruppengröße auch im Falle von 14 Tieren nicht möglicherweise ausreichend, um kleine Effekte nachweisen zu können.

Für die statistische Bewertung des Zahndurchbruchs wurde gemäß der Beschreibung der Methodik der Gehan-Breslow-Wilcoxon-Test verwendet, während im Ergebnisteil vom Log-Rank-Test gesprochen wird. Ersterer ist für frühe Ereignisse in einer Ereigniszeitanalyse geeignet, wohingegen es sich beim Zahndurchbruch um ein sehr spätes Ereignis handelt. Welcher Test letztendlich verwendet wurde, bleibt unklar. Zusammen mit der Tatsache, dass der Zahndurchbruch in dieser Studie – verglichen zu einer von den Autoren zitierten Studie an Ratten des gleichen Stamms [4] – um etwa zwei Tage früher beobachtet wurde (Tag 9), bleibt dieser Befund deshalb mit hoher Unsicherheit behaftet.

Der Open Field-Test wurde im Alter von 21 und 43 Tagen an jeweils sieben Männchen und Weibchen durchgeführt. Gezeigt wurden nur zusammengefasste Ergebnisse von beiden Tests. Es bleibt unklar, wie die Ergebnisse in den jeweiligen Altersstufen waren, ob es einen Trend während der Entwicklung gab und ob zu beiden Zeitpunkten die beschriebenen Unterschiede in der motorischen Aktivität vorlagen und statistisch signifikant waren. Angesichts der sich beträchtlich überlappenden Fehlerbalken, die als Standardfehler ausgewiesen sind, ist es rein deskriptiv nicht eindeutig, ob die Unterschiede in der Gesamtaktivität von Weibchen und in der gesteigerten stereotypen Aktivität von Männchen tatsächlich statistisch signifikant sind [5]. Die entsprechenden Werte nach Exposition nähern sich lediglich dem jeweiligen Niveau des scheinexponierten Gegengeschlechts. Die Autoren diskutieren den von ihnen festgestellten Unterschied in der stereotypen Aktivität zwischen scheinexponierten Männchen und Weibchen nicht. Die Bedeutung der substantiellen Reduktion in der stereotypen Aktivität von Weibchen wird von den Autoren ebenso nicht ausreichend erläutert. Die spezifische Abnahme dieser Bewegungen könnte auch als günstig interpretiert werden.

Die Studie ist eine der wenigen, in der eine Exposition mit 3,5 GHz-HF-EMF auf die prä- und postnatale Entwicklung untersucht wurde, und sie ist deswegen für den Strahlenschutz relevant. Die meisten körperlichen Merkmale sowie Reflexe waren durch eine Exposition nicht beeinflusst. Die Untersuchung des verspäteten Durchbruchs der Zähne und die Veränderungen der motorischen Aktivität sollten unabhängig wiederholt werden, wobei auf Verblindung und statistische Auswertung zu achten ist. Insgesamt zeigen die Ergebnisse keine gesundheitliche Beeinträchtigung der Jungtiere.



## Referenzen

- [1] Bodin R, Seewooruttun C, et al. Sex-dependent impact of perinatal 5g electromagnetic field exposure in the adolescent rat behavior. *Environ Sci Pollut Res.* 2023;30: 113704-113717. doi: 10.1007/s11356-023-30256-7.
- [2] Mai TC, Delanaud S, et al. Effect of non-thermal radiofrequency on body temperature in mice. *Sci Rep.* 2020;10:5724. doi: 10.1038/s41598-020-62789-z.
- [3] ICNIRP Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Phys.* 2020;118:483-524. doi: 10.1097/HP.0000000000001210.
- [4] Rüedi-Bettschen D, Platt DM. Detrimental effects of self-administered methamphetamine during pregnancy on offspring development in the rat. *Drug Alcohol Depend.* 2017;177:171-177. doi:10.1016/j.drugalcdep.2017.03.042.
- [5] Cumming G, Fidler F, et al. Error bars in experimental biology. *J Cell Biol.* 2007;177(1):7-11. doi:10.1083/jcb.200611141.



Bundesamt  
für Strahlenschutz

## **Impressum**

Bundesamt für Strahlenschutz  
Postfach 10 01 49  
38201 Salzgitter

Tel.: +49 30 18333-0

Fax: +49 30 18333-1885

E-Mail: [spotlight@bfs.de](mailto:spotlight@bfs.de)

De-Mail: [epost@bfs.de-mail.de](mailto:epost@bfs.de-mail.de)

[www.bfs.de](http://www.bfs.de)

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:  
[urn:nbn:de:0221-2024070844843](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2024070844843)

Spotlight - Jul/2024 no.1 (Deu)