

Spotlight on EMF Research

Spotlight on “Evaluation of oxidative stress and genetic instability among residents near mobile phone base stations in Germany” von Gulati et al. in *Ecotoxicology and Environmental Safety* (2024)

Kategorie [Hochfrequente Felder, epidemiologische Studie]

Spotlight - Sep/2024 no.3 (Deu)

Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF)

1 Einordnung des Artikels in den Kontext durch das BfS

Menschen, die in der Nähe von Basisstationen leben, sind permanent schwachen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) ausgesetzt. Die Einhaltung der Grenzwerte für eine Exposition gegenüber HF-EMF stellt sicher, dass dabei keine wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitsschädlichen Wirkungen auftreten. Die Grenzwerte schützen vor einer potentiell schädlichen Erhöhung der Gewebetemperatur. Ob schwache HF-EMF mit bisher unentdeckten nicht-thermischen Effekten und dadurch bedingten potentiellen Gesundheitsfolgen assoziiert sind, wird schon seit Jahrzehnten diskutiert. Schlüssige Belege für solche Effekte liegen bislang nicht vor.

2 Resultate und Schlussfolgerungen aus der Perspektive der Autorenschaft

Ziel der Studie war es zu untersuchen, ob eine Langzeitexposition gegenüber HF-EMF von Mobilfunkbasisstationen zu nicht-thermischen biologischen Effekten führen kann, die wiederum möglicherweise das Risiko für eine Krebserkrankung erhöhen könnten. Hierfür untersuchten Gulati et al. [1] menschliche Blutzellen auf oxidativen Stress, vorübergehende und permanente DNA-Schäden, zytogenetische Endpunkte und leukämiespezifische Genveränderungen.

Die Teilnehmer dieser Studie haben mehr als fünf Jahre entweder in der Nähe (75 – 160 m, exponierte Gruppe, 12 Personen) oder weiter entfernt (490 – 1.200 m, Kontrollgruppe, 12 Personen) von Mobilfunkbasisstationen gelebt. Beide Gruppen waren hinsichtlich ihrer Verteilung nach Geschlecht, Alter,

Körpergewicht und -größe vergleichbar. Zwischen den Gruppen gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich Ernährung und Essgewohnheiten, Alkohol- und Nikotinkonsum sowie Exposition gegenüber ionisierender Strahlung von medizinischen Anwendungen. Die Teilnehmer nahmen größtenteils keine Medikamente. Es gab keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen im Anteil der selbst berichteten Elektrohypersensibilität und dem Auftreten von Symptomen wie Kopfschmerzen, Stress oder gestörtem Schlaf.

Elektromagnetische Felder verschiedener Frequenzbereiche wurden in den Schlafbereichen der Wohnungen der Teilnehmer bis zu sieben Tage lang gemessen. In der exponierten Gruppe waren die „Spitzen“- sowie die „rms“-Werte (von engl. root mean square) der Leistungsdichte der LTE- und GSM-Basissignale statistisch signifikant höher als in der Kontrollgruppe. Die Exposition gegenüber HF-EMF von DECT- und WLAN-Geräten sowie die Exposition gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern bei 50 Hz (Wechselstromnetz) waren zwischen den Gruppen nicht statistisch signifikant unterschiedlich. Die durchschnittliche Exposition gegenüber niederfrequenten magnetischen Feldern bei 16,7 Hz (Eisenbahnstromversorgung) war in der exponierten Gruppe statistisch signifikant höher.

Jede an der Studie teilnehmende Person stellte 12 ml Blut für biologische Tests zur Verfügung. Die Proben wurden kodiert und die Analyse wurde verblindet durchgeführt. Der Test für Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen (TBARS-Test) wurde verwendet, um einen Index des Levels von oxidativem Stress in den Blutproben zu erhalten. DNA-Schäden wurden mit dem Comet-Assay bewertet. Mikrokerne wurden in 1000 zweikernigen Zellen von jedem Teilnehmer gezählt. Chromosomenaberrationen wurden in Zellkulturen in 1000 sich teilenden peripheren Blutlymphozyten von jedem Teilnehmer beurteilt. Doppelstrang-DNA-Brüche wurden durch Immunfärbung (53BP1/gammaH2AX Assay) visualisiert. Präleukämische Gen-Umlagerungen wurden durch Fluoreszenzfärbung und RNA-Sequenzierung des Mixed-Lineage-Leukämie (MLL)-Gens identifiziert. Unterschiede in den 19 biologischen Markern zwischen Kontroll- und exponierten Gruppen wurden durch univariate Varianzanalyse (ANOVA) oder Student's t-Test analysiert.

Die Spearman-Korrelationsanalyse zeigte die höchsten Korrelationskoeffizienten (d.h. den stärksten Zusammenhang) zwischen chromosomalen Aberrationen und sowohl LTE- als auch GSM-Exposition. Bei dem Gruppenvergleich der biologischen Marker wurden nur die Ergebnisse der ANOVA und nicht die des t-Tests berichtet. Die Tests auf DNA-Doppelstrangbrüche, Mikrokerne, MLL-Genumlagerungen, oxidative DNA-Läsionen sowie die Untersuchung von Ringchromosomen und azentrischen Chromosomen zeigten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen exponierter und Kontrollgruppe. DNA-Schäden im Comet-Assay sowie die Rate der gesamten chromosomalen Aberrationen und die Rate von drei verschiedenen Arten chromosomaler Aberrationen (dizentrische Chromosomen, Chromatidlücken und chromosomale Fragmente) waren in der exponierten Gruppe statistisch signifikant höher. Nach der Korrektur für multiples Testen (Bonferroni-Korrektur) waren nur noch der Prozentsatz der chromosomalen Fragmente und der Prozentsatz der gesamten chromosomalen Aberrationen in der exponierten Gruppe statistisch signifikant höher als in der Kontrollgruppe.

Es wurde überprüft, ob sich das Vorkommen von möglichen Störfaktoren wie Geschlecht, Rauchen, Alkoholkonsum und die medizinische Anwendung von ionisierender Strahlung zwischen den Gruppen unterscheidet. Dies war nicht der Fall. Des Weiteren wurde in zweifaktoriellen Tests geprüft, ob die untersuchten biologischen Marker sich in Abhängigkeit von den oben genannten Störfaktoren unterscheiden. Der Comet-Assay zeigte eine Abhängigkeit vom Alkoholkonsum, Doppelstrangbrüche waren abhängig von Alkohol und Röntgenstrahlen. Keiner der Störfaktoren beeinflusste die chromosomalen Aberrationen.

Insgesamt wurden in der Studie keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich DNA-Schäden, oxidativem Stress oder spezifischer Genparameter zwischen Personen mit höherer und niedrigerer HF-EMF-Exposition von Mobilfunkbasisstationen gefunden. Jedoch zeigte sich eine statistisch signifikante, fast zweifach erhöhte Rate einiger chromosomaler Aberrationen in der Gruppe mit höherer Exposition

gegenüber GSM- und LTE-Signalen von Mobilfunkbasisstationen im Schlafzimmer. Laut den Autor*innen könnten diese Befunde einen biologisch plausiblen Mechanismus für ein erhöhtes Krebsrisiko bei Personen, die über einen längeren Zeitraum solchen Signalen ausgesetzt sind, darstellen.

3 Kommentare des BfS

Die Autoren verwendeten ein breites Spektrum an biologischen Methoden, um mögliche Effekte der HF-EMF-Exposition von Mobilfunkbasisstationen auf menschliche Blutzellen zu analysieren. Aus Sicht des Strahlen- und Gesundheitsschutzes gibt es jedoch einige Aspekte, die die Aussagekraft der Ergebnisse einschränken: die geringe Gruppengröße, mögliche Scheinassoziationen, biologisch inkonsistente Ergebnisse, Fehlklassifikation der Exposition oder ungenaue Expositionserfassung.

Die Studie basiert auf sehr wenigen Teilnehmer*innen (nur 12 pro Gruppe), was ihre statistische Aussagekraft („statistische Power“) einschränkt und eine Verallgemeinerung der Ergebnisse verhindert. Eine Studie mit geringer statistischer Power birgt typischerweise das Risiko, wahre Effekte zu übersehen, aber es verringert auch die Wahrscheinlichkeit, dass ein statistisch signifikantes Ergebnis einen wahren Effekt widerspiegelt [2].

Ob es zu Scheinassoziationen durch mögliche Störfaktoren gekommen sein kann, die sich zwischen den beiden Gruppen unterscheiden, bleibt unklar. Es wurden zwar zweifaktorielle Tests mit potentiellen Störfaktoren durchgeführt, bei der geringen Gruppengröße können aber Unterschiede unentdeckt bleiben. Auch wurden manche Störfaktoren nur sehr grob erfasst oder gar nicht (z.B. sozioökonomischer Status). Zudem wurden keine Regressionsanalysen durchgeführt, d.h. die gleichzeitige Untersuchung von HF-EMF Exposition und jeweiligem Störfaktor und deren Einfluss auf den biologischen Endpunkt. Erneut ist hier die kleine Fallzahl der Studie ein erheblicher limitierender Faktor, da sie eine solche Analyse nicht ermöglicht.

Das Hauptergebnis der Studie war eine statistisch signifikant erhöhte Rate der Gesamtzahl chromosomaler Aberrationen in der exponierten Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe, die auch nach Korrektur für multiples Testen statistisch signifikant blieb. Andererseits wurde im Mikronukleus-Test kein Unterschied festgestellt. Diese Inkonsistenz wird von den Autoren nur kurz diskutiert und auf unterschiedliche Mechanismen der Bildung von Mikronuklei und chromosomalen Aberrationen verwiesen. Mikronuklei enthalten jedoch Chromosomenfragmente (azentrische Fragmente) oder ganze Chromosomen, die während der Zellteilung nicht an die Tochterzellen verteilt werden. Während die Anzahl der Mikronuklei nach der Zellteilung bestimmt wird, erfolgt die Analyse struktureller Chromosomenaberrationen bereits während der Zellteilung. Technisch gesehen sollte sich die in der Studie gefundene höhere Rate an Chromosomenaberrationen auch in einer höheren Rate von Mikronuklei widerspiegeln.

Ein weiteres Problem ist, dass der statistische Test, der zum Vergleich der exponierten und der Kontrollgruppe verwendet wurde, nicht schlüssig ist. Der ANOVA-Test kann nur verwendet werden, wenn die analysierten Daten normalverteilt sind. Es wurde nicht spezifiziert, ob die Daten auf die Annahme der Normalverteilung geprüft wurden. Insbesondere bei Daten aus Studien über dizentrische Chromosomen im Rahmen der biologischen Dosimetrie geht man üblicherweise nicht von einer Normalverteilung aus [3]. Wenn die Analyse auf einer unangemessenen statistischen Verteilung basiert, könnte dies zu falschen positiven Ergebnissen führen.

Die Autoren vermuten, dass die beobachtete Erhöhung der Rate chromosomaler Aberrationen in der exponierten Gruppe auf die jahrelange Exposition gegenüber LTE- und GSM-Signalen in ihren Wohnungen zurückzuführen sein könnte. Allerdings ist die zuverlässige quantitative Erfassung der tatsächlichen Gesamtexposition von Personen über sehr lange Zeiträume hinweg sehr herausfordernd. Die HF-EMF-Exposition unterliegt starken lokalen und zeitlichen Schwankungen, und die Menschen verbringen während ihres Lebens Zeit an vielen verschiedenen Orten. Die vorgelegten Daten enthalten nicht genügend Informationen über die Expositionsstärke, der die Probanden während des Rests des Tages, wenn sie nicht in ihrem Schlafzimmer waren, ausgesetzt waren. Auch die Nutzung von Mobiltelefonen durch die



Probanden wurde nicht erfasst, obwohl dies oft die primäre Quelle persönlicher HF-EMF-Exposition ist, insbesondere bei der Nutzung von Mobilfunkstandards der zweiten Generation (GSM). Daher ist offen, ob die Gesamtexposition der Testgruppen tatsächlich in ausreichendem Maße unterschiedlich war.

Selbst wenn man annimmt, dass nur die nächtliche Exposition im Schlafzimmer für den betrachteten Endpunkt relevant wäre, sind die in der Veröffentlichung präsentierten Daten und Beschreibungen nicht geeignet, um das Niveau der tatsächlichen nächtlichen Exposition der Testgruppen über den Zeitraum, in dem die Personen in ihren Wohnungen lebten, zu bewerten. Es ist beispielsweise unklar, wie genau die hochfrequenten elektromagnetischen Felder von den Basisstationen gemessen wurden und wie die in der Veröffentlichung präsentierten, nach Funktechnologie aufgeschlüsselten Messergebnisse bestimmt wurden. Ebenso unklar ist, wie stark der Expositionsbeitrag anderer Funkdienste sowie Fern- und Nahfeldquellen war und ob die Daten auch für die Vorjahre aussagekräftig sind.

Zudem gibt es in der Gesundheits- oder Strahlenschutzforschung kein allgemein anerkanntes wissenschaftliches Expositionsmaß für die für längere Zeiträume aussagekräftige Gesamtexposition gegenüber schwachen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern, da bisher kein plausibler nicht-thermischer Wirkmechanismus identifiziert wurde. Beobachtete Korrelationen zwischen Veränderungen in biologisch relevanten Endpunkten und dem Niveau verschiedener Expositionsmaße bei geringen Expositionen über lange Zeiträume können daher bestenfalls als hypothesengenerierend angesehen werden. Aufgrund der begrenzten Aussagekraft der präsentierten Daten und Beschreibungen sind die Ergebnisse der Studie von Gulati et al. auch nicht geeignet, eine plausible Hypothese abzuleiten.

Aufgrund der genannten Einschränkungen liefert die vorliegende Studie keine Belege für einen Zusammenhang zwischen chromosomalen Schäden und der HF-EMF-Exposition der allgemeinen Bevölkerung durch Mobilfunkbasisstationen. Auch reichen die Erkenntnisse nicht aus, weitere Forschung dazu anzuregen.

Referenzen

- [1] Gulati S, Mosgoeller W, Moldan D, et al. Evaluation of oxidative stress and genetic instability among residents near mobile phone base stations in Germany. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2024;279:116486. doi:10.1016/j.ecoenv.2024.116486
- [2] Button KS, Ioannidis JP, Mokrysz C, et al. Power failure: why small sample size undermines the reliability of neuroscience [published correction appears in *Nat Rev Neurosci.* 2013 Jun;14(6):451]. *Nat Rev Neurosci.* 2013;14(5):365-376. doi:10.1038/nrn3475
- [3] Ainsbury EA, Vinnikov VA, Maznyk NA, Lloyd DC, Rothkamm K. A comparison of six statistical distributions for analysis of chromosome aberration data for radiation biodosimetry. *Radiat Prot Dosimetry.* 2013;155(3):253-267. doi:10.1093/rpd/ncs335



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

De-Mail: epost@bfs.de-mail.de

www.bfs.de

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:
[urn:nbn:de:0221-2024091946461](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2024091946461)

Spotlight - Sep/2024 no.3 (Deu)