



Der Einfluss von elektromagnetischen Feldern auf den menschlichen Körper ist ein viel diskutiertes Thema – und das besonders, wenn es um die Gesundheit von Kindern geht. Doch was ist wissenschaftlich belegt, und was ist unbegründete Panikmache?

In einer bundesweiten Studie der LMU München bei Haus- und Kinderärztinnen und -ärzten wurde deren Risikowahrnehmung und Einstellung bezüglich elektromagnetischer Felder (EMF) untersucht [1]. Drei Ergebnisse dieser Befragung sind besonders interessant:

- Bei Einhaltung der Grenzwerte hielt gut ein Viertel der niedergelassenen Haus- und Kinderärzte gesundheitliche Effekte von EMF wie z. B. Schlafstörungen und Kopfschmerzen für möglich.
- Etwa 60 % aller Haus- und Kinderärzte sind der Auffassung, nicht ausreichend über das Thema „EMF und Gesundheit“ informiert zu sein.
- Ärzte, die das EMF-Thema in besonderer Weise wahrnehmen, haben oftmals ein geringes Vertrauen in Fachgremien und Institutionen, die sich mit EMF befassen.

Vor diesem Hintergrund folgt hier ein Überblick über hoch- und niederfrequente EMF insbesondere im kindlichen Umfeld. Der Schwerpunkt liegt auf den hochfrequenten Feldern des Mobilfunks (5G) und verwandten Funktechniken und -anwendungen (Wi-Fi/WLAN, Bluetooth, Internet of Things/Smart Home), wobei eine mögliche Schädigung durch thermische, nichtthermische und kanzerogene Wirkungen genauer beleuchtet wird.

Akzeptanz des Mobilfunks steigt

Ohne Mobilfunk und mobiles Internet ist ein modernes Leben heute kaum vorstellbar. Während zu Beginn der 2000er Jahre viele Menschen angesichts der damals neuen und sich schnell entwickelnden Technologie noch besorgt waren, wird diese heute überwiegend breit akzeptiert. Die individuellen und gesellschaftlichen Vorteile der digitalen mobilen Kommunikation haben gesundheitliche Bedenken weit in den Hintergrund treten lassen. Dennoch ist es durchaus gerechtfertigt, darüber nachzudenken, ob die aktuelle 5G-Mobilfunktechnik – mit ihrer deutlich erhöhten Anzahl kleiner Funkzellen, der neuen Antennen-Technologie und den höheren verwendeten Frequenzen – möglicherweise mit neuen gesundheitlichen Risiken (z. B. für Haut und Augen) einhergehen könnte.

Was ändert sich mit 5G?

5G steht für den Mobilfunkstandard der 5. Generation – als Nachfolger von 2G (GPRS, EDGE), 3G (UMTS, jetzt abgeschaltet) und 4G (LTE bzw. LTE advanced) [2, 3, 4, 5, 6]. In drei Bereichen soll mit 5G ein entscheidender Durchbruch erzielt werden: in der maximal erzielbaren Datenrate, in einer möglichst kurzen Latenzzeit (Reaktionszeit, die Datenpakete benötigen, um vom Endgerät (z. B. Smartphone) zu einem Server

und zurück zu gelangen, gemessen in Millisekunden [ms]) und der Zahl der gleichzeitig ansprechbaren Endgeräte.

Damit in Verbindung stehen Schlagworte wie:

- autonomes Fahren,
- Telemedizin (u.a. Echtzeitunterstützung aus der Ferne bei Operationen),
- „smart cities“ und „smart homes“,
- „internet of things (IoT)“,
- „virtual reality, augmented reality“,
- industrielle Automatisierung,
- „smart farming“ in der Landwirtschaft,
- „network slicing“ (eigene abgesicherte Netze für Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienste, Universitäten u. v. m.).

Der Mobilfunkstandard 5G und der (in Entwicklung befindliche) Standard 6G setzen neben dem Frequenzbereich von 700–2.600 MHz, der bisher von 2G bis 4G genutzt wurde, zukünftig auf deutlich höhere Frequenzen, die bereits im Millimeterbereich des elektromagnetischen Spektrums liegen: 26–40–86 Gigahertz. Höhere Frequenzen ermöglichen es, in Verbindung mit neuen Modulationstechniken die Datenraten um mehrere Größenordnungen zu steigern. Ihr Nachteil ist allerdings, dass mit steigender Frequenz die Reichweite der Felder und ihre Durchdringung von Gebäuden abnehmen. Daher ist ein flächendeckender Ausbau mit 5G/6G eher unwahrscheinlich, er wird sich auf Orte mit hoher Nutzerdichte konzentrieren [5].

Die geringere Reichweite erfordert ein sehr engmaschiges Netz von Indoor- und Outdoor-Funkzellen. Die neuen „smart cells“ werden je nach Typ (Femtozell oder Picocell) einen Versorgungsra-

dus zwischen kleiner 50 m bis etwa 250 m haben und sind hauptsächlich für die Indoor-Versorgung gedacht. Ihre Sendeleistung ist dementsprechend gering, sie liegt zwischen 10 und 250 mW. Zum Vergleich: Ein handelsüblicher WLAN-Router sendet mit bis zu 200 mW. Trotz der Vielzahl neu hinzukommender Funkzellen kann letztendlich die Feldexposition der Nutzerin oder des Nutzers geringer sein als bei Nutzung einer weit entfernten klassischen Basisstation (Sendeleistung: einige 10 W, je nach Versorgungsgebiet). Die „Outdoor“-Versorgung erfolgt im 5G-Netz in Ballungsräumen hauptsächlich über so genannte Microcells, die eine Versorgung bis ca. 2 km ermöglichen sollen und mit ca. 5 W senden. Die Latenzzeiten für hoch zuverlässige Netze (für Echtzeitanwendungen wie beim autonomen Fahren oder in der Telemedizin) sollen dann unter 1 Millisekunde betragen.

Bei 5G (und auch bereits bei 4G = LTE) kommt eine neuartige Antennentechnik zum Einsatz. „MIMO“ = „Multiple Input Multiple Output“ (der Einsatz vieler einzelner Sende- und Empfangselemente auf einer Basisstation) sowie das „beamforming“ (die Ausrichtung und Bündelung des elektromagnetischen Feldes auf den Nutzer hin) sorgen einerseits für hohe Datenraten, andererseits aber auch für eine mögliche höhere Feldexposition des Nutzers. Derzeit wird „beamforming“ allerdings lediglich bei Basisstationen im Frequenzbereich um 3,6 MHz eingesetzt [5].

Mögliche Wirkungen hochfrequenter Mobilfunkfelder

Während niederfrequente elektromagnetische Felder oberhalb eines Schwellenwertes Reizwirkungen an Nerven und Muskeln hervorrufen können, steht bei hochfrequenten Feldern die thermische Wirkung als zuerst beobachtbarer Effekt im Vordergrund [7, 8, 9, 10, 11].

Welche Konsequenzen haben die quantitative Zunahme der Funkzellen, die neuartige Antennentechnik und der Einsatz von Frequenzen im Bereich > 3,6 GHz aus gesundheitlicher Sicht? Besteht die Notwendigkeit, die derzeit gültigen Grenzwerte laut der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) von 1998

oder der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) kritisch zu hinterfragen?

Mit diesen Fragen haben sich drei anerkannte nationale und internationale Fachgremien befasst:

- ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection),
- die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK),
- der Wissenschaftliche Ausschuss für Gesundheit, Umwelt- und neu auftretende Risiken (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks, SCHEER) der Europäischen Kommission.

Zusammengefasst bestätigt die ICNIRP im Wesentlichen das Konzept der thermischen Wirkung als Ausgangspunkt für die Festlegung von Schwellenwerten und den davon abgeleiteten Grenzwerten für die zulässige EMF-Belastung von Ganzkörper, Kopf und Extremitäten [10]. Allerdings wird jetzt der hochfrequente Energieeintrag in das Gewebe feinmaschiger und genauer modelliert. Das bedeutet, dass genauer analysiert wird, wo und wie stark die Frequenzen in unterschiedlichem Gewebe absorbiert werden. Für Frequenzen < 6 GHz wird eine Masse (10 g Gewebe) als Bezugsgröße und für Frequenzen > 6 GHz eine Fläche (4 cm² Gewebe) als Bezugsgröße herangezogen. Letzteres trägt der Tatsache Rechnung, dass hochfrequente Energie im Zentimeter- und Millimeterbereich vorwiegend in den obersten Gewebsschichten absorbiert wird. In den hohen Frequenzbereichen werden lokale Expositionen (z. B. am Auge) strenger beurteilt. Niedrigere Frequenzen beim 5G-Mobilfunk sind für Haut und Auge weniger kritisch als Höchstfrequenzen, da niedrigere Frequenzen tiefer eindringen und sich die Wärme stärker im tieferliegenden Gewebe verteilt.

Laut ICNIRP gibt es keine Hinweise auf die Existenz athermischer (nicht-thermischer) Effekte unterhalb der Grenzwerte, die auf der Wärmewirkung beruhen [10]. Die Wärmewirkung ist der zuerst zu beobachtende, also der empfindlichste Effekt und für die Festlegung der Grenzwerte relevant. Mobilfunkkritische Organisationen wie z. B. die Bio-

initiative [12] und die Kompetenzinitiative [13] sehen dies allerdings anders.

Die deutsche Strahlenschutzkommission SSK weist u. a. darauf hin, dass das neuartige „beamforming“ im Zielbereich des „beams“ zu einer erhöhten Exposition des Nutzers und außerhalb des Zielbereichs zu einer verringerten Exposition der sich dort aufhaltenden Personen führen kann [5]. Ferner hängt auch bei 5G die persönliche Exposition mehr vom eigenen Endgerät und weniger von der Basisstation ab. Die Forschungsergebnisse zu biologischen Wirkungen hochfrequenter Felder bis 7 GHz ergaben keine belastbaren Hinweise auf gesundheitliche Risiken unterhalb der Grenzwerte. Forschungsbedarf besteht allerdings zu zellulären Wirkmechanismen für biologische Effekte (oxidatives Gleichgewicht, EEG, mögliche Kanzerogenität und Genotoxizität u. a.) in der Nähe der Grenzwerte.

Der EU-Ausschuss SCHEER ist ebenfalls der Auffassung, dass die Bedeutung von einigen beobachteten in-vitro-Effek-



Elektromagnetische Felder

Elektromagnetische Felder (EMF) lassen sich in **niederfrequente** und **hochfrequente** Felder unterteilen. Bei niederfrequenten Feldern kann man zwischen der rein elektrischen Komponente („elektrisches Feld“) und der rein magnetischen Komponente („magnetisches Feld“) unterscheiden. Im hochfrequenten Feld verschmelzen beide Komponenten.

Niederfrequente EMF treten z. B. in der Nähe der Stromversorgungsinfrastruktur (Hochspannungsleitungen, Trafostationen), Bahnstrom, bei der Hausinstallation und bei praktisch allen Elektrogeräten auf. Bei einer etwaigen Überschreitung von Schwellenwerten (an denen sich die Grenzwertfestlegung orientiert) können Reizungen an Nerven und Muskeln auftreten.

Hochfrequente EMF entstehen durch Mobilfunk (Basisstation, Smartphones, Tablets), durch TV und Rundfunk, BOS-Funk, Radar und durch lokale Funknetze (WLAN, Bluetooth). Ihre zuerst zu beobachtende Wirkung ist die Wärmewirkung (vgl. häusliche Mikrowelle).

ten noch nicht klar sei, z. B. zum oxidativen Gleichgewicht, zu genetischen und epigenetischen Effekten und zum Kalzium-Signalweg in Zelle und Gewebe [14]. Für gesundheitlich nachteilige Effekte durch EMF-Exposition unterhalb der geltenden Grenzwerte gäbe es allerdings keine Evidenz.

In Deutschland ist das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) für den Schutz vor ionisierender und nichtionisierender Strahlung wie auch für evidenzbasierte Vorsorge zuständig. Die Fachmeinung des BfS zum 5G-Mobilfunkstandard deckt sich im Wesentlichen mit den vorgenannten Stellungnahmen [2, 3]. Forschungsbedarf sieht das BfS weiterhin in Bezug auf Langzeitwirkungen intensiver Handynutzung und die Wirkung auf Kinder.

Mobiles Telefonieren und Hirntumore

Das Thema „Mobiltelefonnutzung und Hirntumoren“ steht seit mehr als zwei Jahrzehnten im Blickpunkt der Forschung. Bekannte Projekte auf diesem Gebiet sind die INTERPHONE-, die CEFALO-, die Mobi-Kids- und die COSMOS-Studie.

In der INTERPHONE-Studie zeigte sich nur bei intensiver Nutzung über mehr als zehn Jahre ein möglicherweise erhöhtes Risiko für Hirntumoren (Gliome, Meningeome), sonst wurde keine Risikoerhöhung beobachtet [15]. Diese

(begrenzten) Hinweise aus der INTERPHONE- und weiteren epidemiologischen Studien führten im Mai 2011 zur Einstufung hochfrequenter Felder als „möglicherweise krebserregend für den Menschen“ (2B) durch die IARC [16]. Der Nachweis eines Kausalzusammenhangs ist damit nicht gegeben.

Ähnlich ausgerichtete Folgestudien (CEFALO-, Mobi-Kids- und COSMOS-Studie) fanden kein erhöhtes Risiko für Hirntumore nach Mobiltelefonnutzung [17, 18, 19].

Im September 2024 kam die australische Strahlenschutzbehörde ARPANSA in einer von der WHO in Auftrag gegebenen Studie zum Schluss, dass es keine Assoziation zwischen Smartphone-Nutzung und Tumoren im Kopfbereich gibt [20]. Diese Studie beinhaltet die weltweit bislang größte und umfassendste Auswertung aller vorliegenden Ergebnisse zu diesem Thema.

Mobilfunk und Langzeit-Tierversuche

Bei den Langzeit-Tierversuchen sind insbesondere die Ramazzini-Studie an Ratten und die NTP-Studie an Mäusen und Ratten zu nennen. Das BfS hat beide Studien vergleichend bewertet [21]. Sein Fazit: „Aus Sicht des BfS liefern weder die Ramazzini- noch die NTP-Studie eine verlässliche Evidenz für eine karzinogene Wirkung von langandauernder Ganzkörperexposition mit elektromagneti-

schen Feldern im Bereich der Grenzwerte“.

Mobilfunk und Schutz der Kindergesundheit

Es soll hier auch die Frage einer höheren Empfindlichkeit von Kindern diskutiert werden. Angesichts der zunehmenden Nutzung von Smartphones durch Kinder und Jugendliche ist die Frage berechtigt, ob Kinder (hier: ab etwa fünf Jahren) und Jugendliche auf die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks möglicherweise empfindlicher als Erwachsene reagieren. Mit dieser Frage hatte sich die Arbeitsgruppe „Mobilfunk und Kinder“ der Strahlenschutzkommission beschäftigt. Die Ergebnisse wurden 2006 veröffentlicht und es wurden Empfehlungen hierzu ausgesprochen [22]. Diese betrafen z. B. kurze Gesprächsdauern, Nutzung von Headsets und die Wahl strahlungsarmer Mobiltelefone. Allerdings haben sich seitdem die Smartphone-Nutzungsgewohnheiten der Kinder und Jugendlichen stark verändert. Standen seinerzeit Telefonate im Vordergrund, sind es jetzt die sozialen Medien, die zur Hauptnutzung avanciert sind. Zugleich haben Ohrstöpsel die seinerzeit vielfach geforderten Freisprecheinrichtungen ersetzt.

Nach Auffassung der meisten Fachleute wie auch des Autors gibt es nach aktuellem Kenntnisstand keine belastbaren Gründe, den Aufenthalt von Kindern und Jugendlichen in der Umgebung von Mobilfunkbasisstationen oder WLAN-Spots einzuschränken [23, 22].

Was die Exposition durch EMF bei jugendlichen Nutzern durch Smartphones und andere Geräte zur mobilen Kommunikation (DECT, Tablets) angeht, hängt auch diese stark von den konkreten Gegebenheiten ab: z. B. von der Entfernung zur Basisstation oder des WLAN-Spots, vom SAR-Wert des Smartphones, der Entfernung zum Körper und der Art der Nutzung.

Das BfS sieht weiteren Forschungsbedarf zu Langzeitwirkungen intensiver Smartphone-Nutzung insbesondere durch Kinder und Jugendliche und hält Vorsorgemaßnahmen bei elektromagnetischen Feldern wie kurze Gesprächsdauer, Nutzung der Freisprechanlage



© Robert Kneschke / stock.adobe.com (Symbolbild mit Fotomodel)

Besteht eine Gefahr für Kinder durch die Smartphone-Nutzung? Hier wird eine bedachtsame Nutzung empfohlen, es besteht jedoch noch Forschungsbedarf.



Studie: Wie wirken hochfrequente Felder auf die Gesundheit?

Aktuell läuft ein groß angelegtes Forschungsprojekt zu 5G und zukünftigen Standards: das **SEAWave-Projekt** (Scientific-based Exposure risk Assessment of radiofrequency and mm-Wave systems from children to elderly (5G and Beyond) [31]) hätte eigentlich bis Ende Mai 2025 abgeschlossen sein sollen, bislang sind jedoch keine Ergebnisse auf der Webseite des Projekts öffentlich abrufbar.

oder falls möglich Festnetznutzung für angemessen [24].

Das BfS stuft „Babyphones“ (insbesondere solche mit DECT-Technologie) aufgrund der von ihnen ausgehenden, teilweise hohen dauerhaften EMF-Belastung als problematisch ein und empfiehlt unter Berufung auf das Vorsorgeprinzip einen Mindestabstand von 1.5 m sowie die Aktivierung des „eco-Modus“ [25].

Diese Einschätzungen teilt die Kinderärztliche Umweltmedizinische Beratungsstelle (Kinderumwelt gGmbH, vormals DISU), die bis 2023 bestanden hat.

Nutzung von Bildschirmmedien durch Kinder und Jugendliche

In den letzten Jahren ist neben der Exposition von Kindern mit hochfrequenten Feldern ein neuer Aspekt in den Fokus gerückt: die Nutzung von Bildschirmmedien und exzessiver Medienkonsum durch Kinder und Jugendliche.

Die BLIKK-Studie („Bewältigung Lernverhalten Intelligenz Kompetenz Kommunikation“) der Stiftung „Kind und Jugend“ und des Berufsverbandes der Kinder- und Jugendärzte untersucht den Einfluss digitaler Mediennutzung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden von Kindern und Jugendlichen in Deutschland [26]. Kinder, die mehr als eine Stunde täglich digitale Medien nutzen, zeigen häufiger Auffälligkeiten in Bezug auf Hyperaktivität, Verhaltensprobleme und emotionale Schwierigkeiten. Auch Schlafprobleme und eine Beeinträchtigung der motorischen Entwicklung sowie wichtiger sozialer Inter-

aktionen der Kinder wurden beobachtet. Die Studie empfiehlt deshalb Folgendes, um einen gesunden Umgang der Kinder mit digitalen Medien zu fördern:

- die Begrenzung der Mediennutzungszeit,
- die Förderung von alternativen Aktivitäten wie Sport und Spiel sowie die
- Etablierung von medienfreien Zeiten (insbesondere vor dem Schlafengehen).

Ein ähnliches Anliegen verfolgt die Initiative „Bildschirmfrei bis 3“ [27].

Niederfrequente Felder in häuslicher Umgebung

Vor drei Jahrzehnten standen Hochspannungsleitungen als Ursache für niederfrequente elektromagnetische Felder in unmittelbarer Nähe (<200 m) zur Wohnbebauung im Mittelpunkt des wissenschaftlichen und öffentlichen Interesses, da in epidemiologischen Studien wiederholt ein Zusammenhang zwischen dem niederfrequenten Magnetfeld (Schwelle ca. 0.4 MikroTesla) und Leukämien (ALL) im Kindesalter beobachtet wurde, allerdings ohne plausiblen Wirkmechanismus [28, 29]. Die vor gut zehn Jahren geäußerte Hypothese, dass elektrisch geladene Corona-Ionen durch Erzeugung von reaktiven Sauerstoffspezies oder durch Bindung von Luftschadstoffen zur Krebsentstehung beitragen könnten, hat sich bisher nicht bestätigt, zumal dann auch eine Abhängigkeit von der Haupt-Windrichtung beobachtet werden müsste. Aus vorsorglichen Gründen hat der Gesetzgeber in 2013 ein Überspannungsverbot für neue Leitungen über Wohngebäuden und Kindergärten erlassen.

Weitere niederfrequente Magnetfelder (elektrische Felder sind gut abschirmbar und daher weniger relevant) stammen von etwaigen nahegelegenen Stromnetzen der Bahn und von Trafohäuschen. Neuerdings kommen im Zusammenhang mit der Elektromobilität Ladestationen für e-Autos (insbesondere häusliche wallboxes) und die e-Autos selbst dazu.

Das BfS hat in 2025 Magnetfeldmessungen an unterschiedlichen Stellen im Inneren der e-Fahrzeuge unter realen Bedingungen und auf Teststrecken durchgeführt [30]. Dabei wurde eine er-



Fazit für die Praxis

- Der Aufenthalt von Kindern in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen bzw. WLAN-Spots wird nach gegenwärtigem Kenntnisstand als unbedenklich angesehen.
- Zur Smartphone-Nutzung durch Kinder und Jugendliche haben sich die Strahlenschutzkommission, das BfS und die bis 2023 bestehende „Kinderärztliche Beratungsstelle für Umweltmedizin“ in Osnabrück für eine bedachtsame/restruktive Nutzung von Mobiltelefonen insbesondere durch jüngere Kinder ausgesprochen.
- Unabhängig von der Frage der Exposition mit hochfrequenten Feldern warnen Kinder- und Jugendärzte vor einem übermäßigen Bildschirm-Medienkonsum (Smartphone, Tablet, Fernseher) durch Kleinkinder und weisen auf mögliche psychosoziale Gefahren für Kinder und Jugendliche hin.

hebliche räumliche (Beinraum!) und zeitliche (Anfahren, Bremsen, Fahrweise!) Inhomogenität der Magnetfelder festgestellt. Insgesamt lagen die Magnetfelder unter den zulässigen Höchstwerten. Auch in konventionellen Fahrzeugen entstehen EMF durch Anlasser, Sitzplatzheizung, Klimaanlage und ähnliches.

Studien, die über die reine Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern hinausgehen und etwaige gesundheitliche Wirkungen der e-Mobilität und z. B. auch der Photovoltaik untersuchen, liegen nach Kenntnis des Autors bislang nicht vor.

Literatur



als Zusatzmaterial unter <https://doi.org/10.1007/s15014-026-5873-x> in der Online-Version dieses Beitrags

Dr. rer. nat. Matthias Otto
Osnabrück
matthias.otto@t-online.de

Interessenkonflikt

Der Autor versichert, dass keinerlei Interessenkonflikte bestehen. Künstliche Intelligenz kam nur bei der Suche nach Literaturstellen zum Einsatz, nicht beim Abfassen des Textes.