

Elektromagnetische Felder im Wohnumfeld

AUSWIRKUNGEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER

Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (EMF) sind im Wohnumfeld allgegenwärtig. Sie sind nicht sichtbar und werden durch elektrische Geräte, Stromleitungen und Funkanwendungen innerhalb wie außerhalb der Wohnung erzeugt. Die Auswirkungen sind je nach Frequenz und Stärke des Feldes unterschiedlich, wobei wir oft mehreren gleichzeitig einwirkenden Feldern ausgesetzt sind. Grenzwerte schützen vor zu starken Feldern und schädlichen Folgen, es werden jedoch auch Wirkungen unterhalb der Grenzwerte diskutiert und laufend erforscht. **Frank Gollnick et al.**

Elektromagnetische Felder in der Umwelt

Natürliche und technisch erzeugte EMF treten in der Natur und in der vom Menschen geschaffenen Umgebung auf. Neben dem Erdmagnetfeld als Beispiel für ein natürlich vorhandenes Feld entstehen durch technische Prozesse viele andere Felder. Wie das Licht gehören sie zu den elektromagnetischen Wellen (→ **Abb. 1**). Ihre Eigenschaften und möglichen Wirkungen auf den Menschen unterscheiden sich je nach ihrer Stärke und Frequenz. Die Frequenz wird in der Einheit Hertz (Hz) angegeben. Im nicht-ionisierenden Bereich des elektromagnetischen Spektrums werden statische Felder (0 Hz), Niederfrequenzfelder (bis ca. 1 kHz) sowie der Bereich der Zwischenfrequenz- und Hochfrequenzfelder (bis 300 GHz) unterschieden. Der Zwischenfrequenzbereich liegt laut WHO zwischen 300 Hz und 10 MHz (WHO 2005a), wird jedoch nicht immer gleich definiert. Bei statischen und niederfrequenten Feldern werden die elektrischen und magnetischen Felder getrennt betrachtet. Liegt die Frequenz höher, werden diese Felder gemeinsam als ein elektromagnetisches Feld betrachtet, wobei aber auch hier eine elektrische und eine magnetische Feldkomponente vorliegen, die eng miteinander verknüpft sind.

Statische Felder, die im Wohnumfeld zum Beispiel bei Dauermagneten oder Batterien auftreten, können Kraftwirkungen auf elektrisch geladene Moleküle des Körpers ausüben oder zu einer elektrischen Aufladung an der Körperoberfläche führen. Niederfre-

quente Felder gehen im Haushalt von Elektrogeräten aller Art und von Stromleitungen aus und haben in Europa typischerweise die Netzfrequenz von 50 Hz. Durch die niederfrequenten Felder entstehen induzierte elektrische Felder und Ströme innerhalb des biologischen Gewebes. Dadurch können erregbare Körperzellen wie Sinnesrezeptoren, Nerven- und Muskelzellen gereizt werden. Zwischenfrequenzfelder entstehen beispielsweise an Induktionsherden, Energiesparlampen oder kabellosen Ladestationen, die wir unter anderem von elektrischen Zahnbürsten kennen. Die im unteren Zwischenfrequenzbereich vorherrschende Reizwirkung durch induzierte elektrische Felder und Ströme geht bei höheren Frequenzen mehr und mehr in eine Wärmewirkung auf das Gewebe über. Mit hochfrequenten Feldern arbeiten im Wohnumfeld unter anderem mobile Funknetze (z. B. Mobilfunk, WLAN, Bluetooth, Schnurlostelefone), Radio und Fernsehen sowie Mikrowellenherde. Diese Felder können durch ihren Energieeintrag im Gewebe des Körpers Wärme erzeugen.

Grenzwerte

Vor einer zu starken Exposition gegenüber EMF schützen uns Grenzwerte. Diese sind allerdings international nicht einheitlich geregelt. Sie werden von verschiedenen internationalen Kommissionen, z. B. der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), festgelegt und den zuständigen staatlichen Behörden zur nationalen Umsetzung in gesetzliche



FÜR DIE AUTOREN

**Dr. rer. nat.
Frank Gollnick**
femu – Forschungszentrum
für Elektro-Magnetische
Umweltverträglichkeit,
Institut für Arbeitsmedizin
und Sozialmedizin
Uniklinik RWTH Aachen
Pauwelsstraße 30
52074 Aachen
gollnick@femu.rwth-aachen.de

Regelungen empfohlen. Die Empfehlungen der Kommissionen basieren auf der regelmäßigen Auswertung des aktuellen Kenntnisstands der Wissenschaft im Bereich EMF und ihrer möglichen Wirkungen auf Mensch und Umwelt. Bei der Gesetzgebung handeln die Staaten autonom. Sie orientieren sich aber weitgehend an den Empfehlungen der Expertenkommissionen und im Falle der Länder Europas auch an entsprechenden EMF-Richtlinien und Empfehlungen der Europäischen Union (EU). In Europa orientieren sie sich z. B. an den Empfehlungen der ICNIRP. Grundsätzlich werden darin *Basisgrenzwerte* für die Exposition des Menschen gegenüber EMF und *Referenzwerte* für die Grenzen der Emissionen von Geräten oder Anlagen unterschieden. Basisgrenzwerte orientieren sich an den wissenschaftlich gesicherten biologischen Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder und liegen etwa 50fach unter den nachgewiesenen Wirkungsschwellen. Dadurch sind auch besonders empfindliche Bevölke-

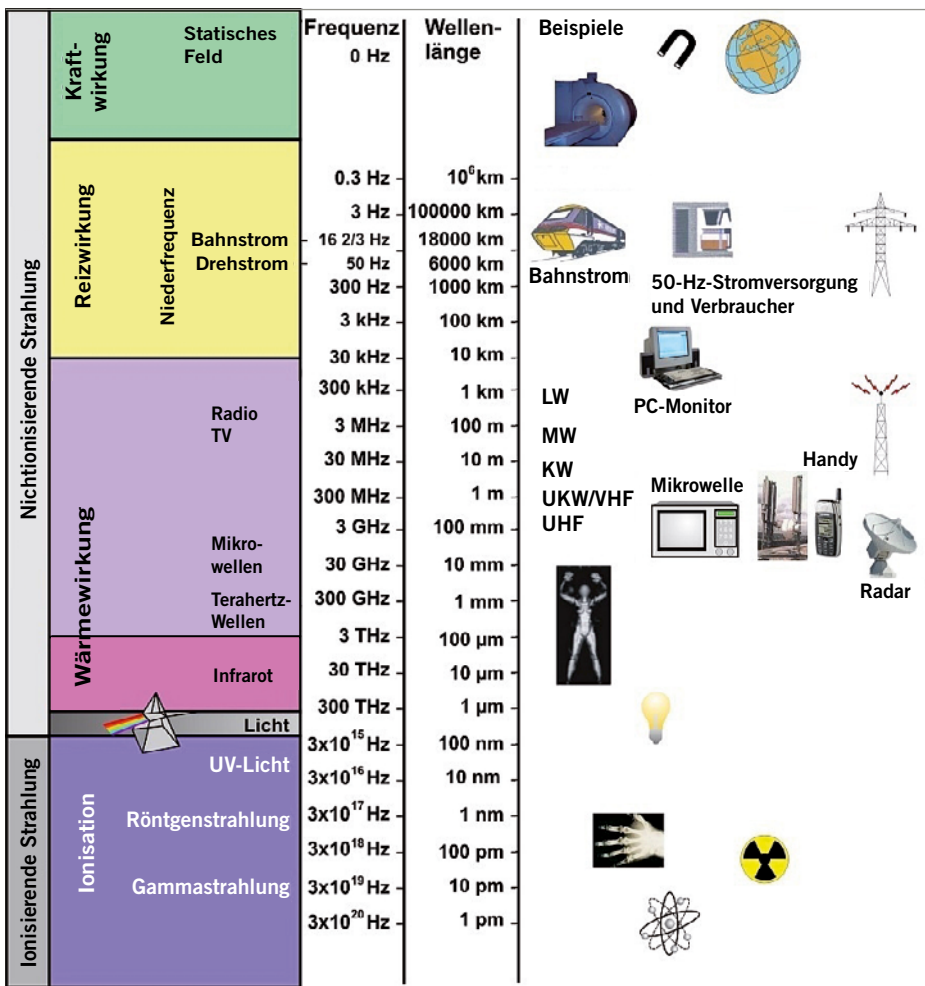


Abb. 1: Elektromagnetisches Spektrum mit Anwendungsbeispielen (Quelle: EMF-Portal; <https://www.emf-portal.org/>)

rungsgruppen, wie z.B. Kinder, ältere und kranke Menschen mit einer ausreichenden Sicherheitsreserve geschützt. Referenzwerte sind Grenzwerte, die im Gegensatz zu den Basisgrenzwerten direkt messbar sind und dadurch die Überprüfung der Einhaltung der Basisgrenzwerte ermöglichen. Bei einer überwiegend lokalen Exposition, wenn z.B. ein Mobiltelefon ans Ohr gehalten wird, ist die Anwendung der Referenzwerte jedoch nicht geeignet. Die Einhaltung der lokalen Basisgrenzwerte muss dann beispielsweise durch Computersimulationen direkt bewertet werden.

Die Grenzwerte für EMF sind international nicht einheitlich geregelt

In Deutschland und Europa existieren unterschiedliche gesetzliche Regelungen für den Schutz der Allgemeinbevölkerung und für den Arbeitsschutz, die sich alle an

den Empfehlungen der ICNIRP orientieren. In Europa sind dies die EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG für den Schutz der Allgemeinbevölkerung und die EU-Richtlinie 2013/35/EU für den Arbeitsschutz. In Deutschland legt die Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV 2013) verbindliche Grenzwerte für EMF fest, die von ortsfesten Anlagen, wie z.B. Mobilfunk-Basisstationen, Rundfunksendern und Hochspannungsleitungen generell eingehalten werden müssen und somit auch im Wohnumfeld gelten. Diese Grenzwerte entsprechen den oben erwähnten Referenzwerten der ICNIRP. Für nicht ortsfeste, oft im Wohnumfeld eingesetzte Geräte mit Funkanwendungen (z.B. Handys, WLAN-Router), häusliche Elektroinstallationen sowie elektrische Haushaltsgeräte (z.B. Haartrockner, Waschmaschine) gelten Regelungen zur Geräte- und Produktsicherheit, die über Normen europaweit harmonisiert sind und deren Einhaltung

beim Inverkehrbringen durch eine CE-Kennzeichnung auf dem Gerät angezeigt werden muss. In den harmonisierten europäischen Normen wurden die Schutzziele auf Grundlage der Basisgrenzwerte und Referenzwerte der ICNIRP festgelegt. **Tabelle 1** zeigt auf Grundlage der ICNIRP-Empfehlungen eine kurz gefasste Zusammenstellung von Referenzwerten und Basisgrenzwerten, die für das Wohnumfeld besonders interessant sind. Abhängig von der Frequenz sind die Grenzwerte durch verschiedene physikalische Größen definiert.

Quellen elektromagnetischer Felder im Wohnumfeld

Im Zuge der fortschreitenden Technisierung kommen in unserer Wohnumgebung EMF aus einer Vielzahl verschiedener Feldquellen vor. Die Felder werden entweder durch elektrische Installationen, Geräte oder Dauermagnete im eigenen Wohnumfeld erzeugt oder von außerhalb befindlichen elektrischen Anlagen emittiert. Niederfrequente Magnetfelder und hochfrequente elektromagnetische Felder durchdringen Wände und anderes Material und können somit leicht von außen in die Innenräume gelangen. Sie können auch in das Körpergewebe eindringen und dort grundsätzlich Wirkungen verursachen. Niederfrequente elektrische Felder werden dagegen durch Wände, Pflanzenbewuchs oder anderes Material weitgehend abgeschirmt. Sie können sich daher nur im Freien bei direkter Sicht auf die Feldquelle bzw. in Innenräumen in der Nähe von elektrischen Installationen oder Geräten auf den Menschen auswirken. Sie dringen auch weniger gut in den Körper ein und wirken sich hauptsächlich an der Körperoberfläche aus.

Entsprechend ihres Zwecks, der Art ihrer Stromversorgung (Batterien, Netzstrom) und ihrer elektrischen Eigenschaften können im Wohnumfeld Installationen und Geräte unterschieden werden, die statische Felder, niederfrequente Wechselfelder, Zwischenfrequenzfelder oder Hochfrequenzfelder erzeugen. In jedem Fall nimmt die Stärke der Felder mit dem Abstand von der Feldquelle deutlich ab. Das heißt, die Felder sind bei direktem Körperkontakt zu einem felderzeugenden Gerät oder in seiner unmittelbaren Nähe stets am stärksten. Wie stark der Mensch Feldern ausgesetzt ist, hängt also von den jeweiligen von den Geräten oder Anlagen ausgesandten Feldstärken und

Tabelle 1: Überblick über maximal erlaubte Werte (Referenzwerte und Basisgrenzwerte für die Allgemeinbevölkerung) mit besonderer Relevanz für das Wohnumfeld

Frequenz	Anwendungsbeispiele im Wohnumfeld	Referenzwerte ¹ (gemäß ICNIRP-Empfehlungen 1998, 2009, 2010)			Basisgrenzwerte (gemäß ICNIRP-Empfehlungen 1998, 2010)			
		Elektrisches Feld	Magnetisches Feld		Elektrisches Feld	Spezifische Absorptionsrate (SAR)		
			Angabe in: Feldstärke (V/m)	Angabe in: Feldstärke (A/m)		Flussdichte (µT)	Angabe in: Innere Gewebefeldstärke (V/m)	Mittlere Ganzkörper-SAR (W/kg)
0 Hz	Permanentmagnete, Batterien	–	–	500 ²	–	–	–	–
50 Hz	Netzstrom, Elektrogeräte	5000	160	200	0,4	–	–	–
20–100 kHz	Induktionskochfeld	83	21	27	2,7–13,5	–	–	–
100 MHz	UKW-Rundfunk	28	0,07	0,09	–	0,08	2	4
800 MHz	LTE-Mobilfunk	39	0,10	0,13	–	0,08	2	4
900 MHz	GSM-Mobilfunk	41	0,11	0,14	–	0,08	2	4
1,8 GHz	GSM-, LTE-Mobilfunk	58	0,16	0,20	–	0,08	2	4
1,9 GHz	DECT-Schnurlostelefon	60	0,16	0,20	–	0,08	2	4
2,1 GHz	UMTS-Mobilfunk	61	0,16	0,20	–	0,08	2	4
2,4 GHz	WLAN, Bluetooth, Mikrowellenherd	61	0,16	0,20	–	0,08	2	4
2,6 GHz	LTE-Mobilfunk	61	0,16	0,20	–	0,08	2	4
5 GHz	WLAN	61	0,16	0,20	–	0,08	2	4

¹ Die Referenzwerte wurden in der 26. BImSchV als Grenzwerte für ortsfeste Anlagen wie Mobilfunk-Sendemasten, Radioantennen oder Hochspannungsleitungen übernommen, wobei Anlagen mit einer Frequenz von 50 Hz die Hälfte des genannten Referenzwertes für magnetische Felder (d. h. 100 µT) nicht überschreiten dürfen. Ortsfeste Anlagen müssen diese Werte auch im Wohnumfeld einhalten.

² Dieser Wert berücksichtigt auch nichtbiologische Wirkungen, wie zum Beispiel die Störung von Implantaten. Biologische Wirkungen sind erst ab einer magnetischen Flussdichte von 400 mT zu erwarten.

ihrem Abstand ab. Fast immer liegt eine gleichzeitige Exposition gegenüber mehreren Feldern mit unterschiedlicher Frequenz und Stärke aus verschiedenen Feldquellen vor. Die Gesamtexposition eines Menschen an einem bestimmten Ort zu erfassen, setzt daher aufwändige Messungen oder – bei genauer Kenntnis der verschiedenen Feldquellen sowie deren Stärken und Abständen zum Menschen – umfangreiche Computersimulationen voraus.

Statische Felder

Nennenswerte statische Magnetfelder gehen im Wohnumfeld zum einen von starken Dauermagneten aus, z. B. von Magnetspielzeug, -schmuck oder -haltern sowie von den Magnetkernen in Lautsprechern, Kopfhörern und Gerätetransformatoren. Zum anderen erzeugen Gleichstrombatterien, wie z. B. Batterien für Kleingeräte und Autobatterien, zwischen ihren Polen statische elektrische Felder. Wenn Strom entnommen wird, entstehen auch statische Magnetfelder. Die Magnetfelder der genannten Dauermagnete sind bei Abständen unter etwa 10 cm teilweise so stark (über 500 µT), dass elektronische Implantate (z. B. Herzschrittmacher)

gestört werden können (BAG 2016a). Der Stärkebereich für eine mögliche direkte biologische Wirkung (Schwindel, metallischer Geschmack im Mund und Lichterscheinungen auf der Netzhaut ab 2 T; ICNIRP 2009) wird durch solche Magnete jedoch nicht erreicht. Die statischen Magnetfelder von Photovoltaikanlagen in Häusern nehmen im Abstand von 30–50 cm Werte an, die dem natürlichen Erdmagnetfeld entsprechen. Dieses hat in Deutschland eine magnetische Flussdichte von ca. 45 µT. Von außen können statische elektrische und magnetische Felder von Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen (HGÜ-Leitungen) das Wohnumfeld erreichen, sofern sich eine Leitung in der Nähe befindet. Der HGÜ-Leitungsausbau ist zurzeit in Deutschland in größerem Maßstab in der Planung und im Aufbau. Die Stärke der von HGÜ-Leitungen erzeugten Magnetfelder liegt in ihrer Nähe höchstens im Stärkebereich des natürlichen Erdmagnetfelds.

Niederfrequente Felder

Niederfrequente Felder, hier vor allem erwähnenswert die 50-Hz-Magnetfelder, gehen im Wohnbereich von den in Wänden

verlegten oder freiliegenden Stromkabeln sowie von den elektrischen Geräten, die mit Netzstrom betrieben werden, aus. Dies sind fast alle elektrischen Haushaltsgeräte und Leuchten, wobei in den immer häufiger anzutreffenden elektronisch gesteuerten Haushaltsgeräten zusätzlich auch Felder des Zwischenfrequenzbereichs entstehen. Magnetfelder entstehen bei Stromleitern und Geräten nur dann, wenn in den Leitungen ein Strom fließt, das heißt, wenn die Geräte eingeschaltet sind. Elektrische Felder sind dagegen immer vorhanden, sobald ein Leiter oder ein Gerät unter Spannung steht, also auch an ausgeschalteten Geräten, Lampen und deren Stromkabeln, wenn diese an das Netz angeschlossen sind. Im Gegensatz zu Magnetfeldern werden die elektrischen Felder jedoch durch leitfähiges Material (wie z. B. Mauerwerk, abschirmende Kabelummantelungen oder metallische Gehäuse von Geräten) stark gedämpft.

Die stärksten Magnetfelder werden von Elektrogeräten mit starken Motoren, Transformatoren (Netzteilen), Magnetspulen oder mit einer starken Heizleistung erzeugt. Der Mensch ist den höchsten Feldern ausgesetzt, wenn solche Geräte zusätzlich nah

Tabelle 2: Typische magnetische Flussdichten (in μT) von Haushaltsgeräten bei verschiedenen Abständen. Die Werte bei den üblichen Gebrauchsabständen sind fettgedruckt (Quelle: SSK 1997)

Gerät	Magnetische Flussdichte [μT] bei 3 cm Abstand	Magnetische Flussdichte [μT] bei 30 cm Abstand	Magnetische Flussdichte [μT] bei 1 m Abstand
Haartrockner	6–2000	0,01–7	0,01–0,3
Rasierapparat	15–1500	0,08–9	0,01–0,3
Bohrmaschine	400–800	2–3,5	0,08–0,2
Staubsauger	200–800	2–20	0,13–2
Leuchtstofflampe	40–400	0,5–2	0,02–0,25
Mikrowellengerät	73–200	4–8	0,25–0,6
Radio (tragbar)	16–56	1	<0,01
Elektroherd	1–50	0,15–0,5	0,01–0,04
Waschmaschine	0,8–50	0,15–3	0,01–0,15
Bügeleisen	8–30	0,12–0,3	0,01–0,03
Geschirrspüler	3,5–20	0,6–3	0,07–0,3
Computer	0,5–30	<0,01	<0,01
Kühlschrank	0,5–1,7	0,01–0,25	<0,01

am Körper betrieben werden (wie z. B. bei Haartrockner, Rasierapparat, Bohrmaschine, Heizdecke). ➔ **Tabelle 2** zeigt typische magnetische Flussdichten einiger Haushaltsgeräte bei verschiedenen Abständen.

Es ist zu erkennen, dass alle von Haushaltsgeräten erzeugten Magnetfelder schnell mit der Entfernung abnehmen; die Feldstärke verringert sich bei Verdoppelung des Abstands mindestens um die Hälfte. Magnetfeldmatten, die für den privaten Bereich zu Therapiezwecken, aber auch als Erholungs- und Wellnessgeräte angeboten werden, erzeugen zum Teil starke Magnetfelder, die über den internationalen Grenzwertempfehlungen liegen (BAG 2016b).

Äußere, in das Wohnumfeld einwirkende niederfrequente Magnetfelder können vor allem von den bereits erwähnten 50-Hz-Hochspannungsfreileitungen ausgehen, außerdem von Wechselstrom-Erdkabeln, Bahnstromleitungen und Transformatorstationen, wenn sich diese nahe an der Wohnung befinden. Bei solchen Anlagen müssen die gesetzlichen Grenzwerte der 26. BImSchV eingehalten werden. Messungen in verschiedenen europäischen Ländern, darunter Deutschland, zeigten, dass die Werte in Innenräumen fast immer unter $1 \mu\text{T}$, d. h. mehr als hundertfach unter dem deutschen Grenzwert, liegen (EFHRAN 2011).

Zwischenfrequenzfelder

Felder im Zwischenfrequenzbereich entstehen im Wohnumfeld beispielsweise beim

Betrieb von Induktionskochfeldern, Energiesparlampen, kabellosen Ladestationen, Bildschirmen sowie anderen elektronisch gesteuerten Elektrogeräten und Leuchten. Außerdem erzeugen die Wechselrichter von Photovoltaikanlagen im Haus neben geringen statischen und niederfrequenten Feldern auch Zwischenfrequenzfelder im kHz-Bereich in nennenswerter Stärke. Eine umfangreiche neuere Untersuchung in 121 Räumen von 42 Wohnungen in Belgien, Slowenien und Großbritannien ergab, dass Elektrowerkzeuge, Energiesparlampen, Staubsauger, Mikrowellenherde mit Inverter-Technologie, Dimmer und Waschmaschinen zu den am häufigsten vorkommenden Quellen von Zwischenfrequenzfeldern gehören (Aerts et al. 2017). Insgesamt wurden 279 Geräte aus 65 Gerätekategorien gemessen. Die stärksten elektrischen und magnetischen Felder wurden bei Induktionsherden, LCD-Bildschirmen, Mikrowellenherden und Kühlschränken mit Inverter-Technologie sowie bei Energiespar- und Leuchtstofflampen gemessen. Induktionsherde müssen generell als die stärkste Quelle von Zwischenfrequenzfeldern im Haushalt angesehen werden (Aerts et al. 2017). Bei geringem Abstand des Körpers vom Herd (1–20 cm) und unter ungünstigen Bedingungen (ungeeignetes und/oder unzentriert aufgestelltes Kochgeschirr) können hier in einigen Fällen die Grenzwerte erreicht oder bei manchen Geräten sogar überschritten werden (BAG 2016c).

Bei Wechselrichtern von Photovoltaikanlagen wird mit Blick auf die von ihnen erzeugten Zwischenfrequenzfelder empfohlen, diesen Teil der Anlage nicht in unmittelbarer Nähe von Daueraufenthaltsbereichen zu installieren (LUBW/LfU 2010).

Hochfrequente Felder

Hochfrequente Felder entstehen im Wohnumfeld durch die Sender verschiedener Funkanwendungen und als Leckstrahlung von Mikrowellenherden. In Haus und Wohnung wird eine Reihe von Kleinsendern betrieben: Mobiltelefone, DECT-Schnurlostelefone und -Basisstationen, WLAN-Router und -Klienten (z. B. Notebooks, Tablet-PCs), Bluetooth-Geräte (Headsets, drahtlose Computerperipherie etc.), sonstige Funkgeräte (z. B. Babyüberwachungsgeräte) sowie andere drahtlose Geräteverbindungen (Funkkopfhörer, -lautsprecher, -videoverbindungen etc.). Hiervon senden Mobiltelefone und einige Typen von Babyüberwachungsgeräten die stärksten Hochfrequenzfelder aus (Schmid et al. 2007; Streckert 2012). Die Strahlenschutzgrenzwerte müssen aber in jedem Fall eingehalten werden. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) empfiehlt dennoch, Handys und Smartphones mit geringer Feldintensität (d. h. mit möglichst niedriger spezifischer Absorptionsrate, „SAR-Wert“, siehe „Weitere Infos“) den Vorzug zu geben und vorsorglich Babyüberwachungsgeräte mit möglichst schwacher Feldintensität (z. B. mit dem „Blauen Engel“ ausgezeichnet)

nete Geräte) zu nutzen. Die Felder der anderen Geräte erreichen für den Menschen nur dann eine nennenswerte Größe, wenn sie unmittelbar am Körper betrieben werden. Dies ist z. B. bei schnurlosen DECT-Telefonen oder Notebooks und Tablet-PCs mit eingeschalteten WLAN-Modulen der Fall, wenn diese direkt am Körper getragen oder benutzt werden. Feldsimulationen mit mehreren gleichzeitig einwirkenden Feldquellen in Haushalt und Büro ergaben jedoch, dass auch an den Orten der Feldmaxima die Grenzwerte eingehalten werden. Die Exposition des Menschen durch körpernah betriebene Geräte ist in der Regel höher als durch Geräte, die einen deutlichen Abstand zum Körper haben. Die Gesamtexposition bleibt jedoch klar unterhalb der geltenden Grenzwerte (Schmid et al. 2007; Streckert 2012). Auch neuere Hochfrequenztechnologien im Wohnumfeld, wie z. B. intelligente Stromzähler (Smart Meter), tragen im Vergleich zu körpernah betriebenen Anwendungen nicht nennenswert zur Gesamtbelastung durch hochfrequente Felder bei (s. „Weitere Infos“). Zahlreiche weitere Informationen zu den im Wohnumfeld vorkommenden Kleinsendern sind auf den Internetseiten des BfS zu finden (s. „Weitere Infos“).

Die in Mikrowellenherden zur Erwärmung von Speisen eingesetzten Mikrowellen liegen mit ihrer Frequenz (2,45 GHz) in einem ähnlichen Frequenzbereich wie die EMF von WLAN und einigen Mobilfunkanwendungen (UMTS, LTE). Die in den Herden verwendete Leistung ist jedoch ungefähr

4000mal höher als bei Mobilfunk und WLAN (LUBW/LfU 2010). Das Gehäuse und die dichte Tür verhindern, dass wesentliche Anteile der Mikrowellen nach außen dringen. Die trotz guter Abschirmung auftretende Leckstrahlung beträgt nach Messungen des BfS im Mittel etwa 1 % des festgelegten Grenzwerts an der Geräteoberfläche und in 30 cm Entfernung noch etwa 0,05–0,1 % des Grenzwerts. Es wird empfohlen, darauf zu achten, dass die Geräte sich in einem technisch einwandfreien Zustand befinden. Kinder sollten sich nicht unmittelbar vor oder neben dem laufenden Gerät aufhalten, um unnötige Expositionen zu vermeiden (s. „Weitere Infos“).

Hochfrequente Felder, die von außen das Wohnumfeld erreichen, werden vor allem von Mobilfunk-Basisstationen sowie Rundfunk- und Fernsehsendern ausgesandt. An manchen Orten kommen die Felder von in der Nähe befindlichen Amateurfunk- oder Richtfunksendern, Radaranlagen sowie neuerdings auch regionalen WiMAX-Funknetzen hinzu – wobei hier nur die wichtigsten Sender genannt sind.

Die Beiträge dieser aus der Ferne strahlenden Hochfrequenzquellen zur Gesamtexposition des Menschen liegen weit unterhalb der Beiträge von Feldquellen, die den Körper berühren (wie z. B. ein Mobiltelefon) oder die körpernah betrieben werden, wie z. B. ein Notebook auf den Oberschenkeln. Dies gilt auch dann, wenn die am Szenario beteiligten fernen Quellen gegenüber den körperberührenden in der Überzahl sind und

um Größenordnungen höhere Leistungen emittieren (Streckert 2012).

Zusammenfassend muss bei den Quellen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder im Wohnumfeld also unterschieden werden zwischen:

- eher kurzfristigen, zum Teil relativ hohen Feldexpositionen durch Magnete, Elektrogeräte und Leuchten sowie Mobiltelefone in der eigenen Umgebung,
- einer eher geringen Dauerexposition durch das hauseigene Stromnetz und eigene lokale Funknetze,
- einer vergleichsweise geringen Dauerexposition durch externe Anlagen der Stromversorgung und der allgemeinen Versorgung mit Funkdiensten.

Dabei ist das Ausmaß der Exposition durch die relativ starken persönlichen Geräte (z. B. Mobiltelefone, Babyüberwachungsgeräte) und durch die hauseigenen Funknetze (z. B. WLAN, Bluetooth, DECT) grundsätzlich gut kontrollierbar. Die Exposition durch das hauseigene Stromnetz wäre zumindest zeitweise durch einen Netzfreischalter vermeidbar. Dagegen kann die geringe Dauerexposition durch externe Feldquellen – bis auf gewisse Abschirmmöglichkeiten bei Hochfrequenzfeldern (vgl. LfU 2008) – durch eigene Maßnahmen nicht kontrolliert werden.

Akute Wirkungen der Felder

Die akuten Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf den Menschen sind gut erforscht. Die Grenzwerte wurden von diesen akuten Wirkungen entsprechend abgeleitet und zielen darauf ab, für den Menschen schädliche Wirkungen zu vermeiden.

Durch *statische elektrische Felder* kann es zur elektrischen Aufladung der Hautoberfläche kommen. Dies geschieht im Wohnumfeld z. B. durch Reibung auf Teppichen oder an synthetischer Kleidung. Hierbei können Mikroentladungen auf der Körperoberfläche oder Bewegungen der Körperhaare spürbar werden, was eventuell unangenehm, aber ungefährlich ist. *Statische Magnetfelder* durchdringen das Körpergewebe und können bei hohen Flussdichten oberhalb der Grenzwerte (ab 2–3 Tesla), die im Wohnumfeld aber nicht vorkommen, mit geladenen Teilchen im Körper in Wechselwirkung treten.



Foto: © shank_ali/Thinkstock

Einige Typen von Babyüberwachungsgeräten und Mobiltelefone senden die stärksten Hochfrequenzfelder aus – die Strahlenschutzgrenzwerte müssen aber in jedem Fall eingehalten werden

Auch durch *niederfrequente elektrische Felder* kommt es zu den beschriebenen harmlosen Aufladungseffekten auf der Haut. Das von einem äußeren elektrischen 50-Hz-Wechselfeld im Inneren des Körpers erzeugte elektrische Feld ist einige Hunderttausend bis Millionen Mal schwächer als das äußere elektrische Feld (ICNIRP 2010). Daher ist diese Feldwirkung bei den im Wohnumfeld vorkommenden Feldstärken aus gesundheitlicher Sicht irrelevant. *Niederfrequente Magnetfelder* dringen beinahe ungehindert in den Körper ein. Oberhalb bestimmter Schwellenwerte kann es durch die im Körper hierbei ausgelösten Wirbelströme zu einer wahrnehmbaren Reizung von Sinnesrezeptoren, Nerven- und Muskelzellen kommen. Da solche nachgewiesenen Wirkungen als Grundlage für die Grenzwertsetzung dienen, sind sie im Wohnumfeld durch Einhaltung der Grenzwerte beim Einsatz von Geräten und Anlagen ausgeschlossen.

Im *Zwischenfrequenzbereich* ändert das EMF seine möglichen Wirkungen mit höher werdender Frequenz. Dabei geht die oben für niederfrequente Magnetfelder beschriebene Reizwirkung immer mehr in eine durch das Feld entstehende Erwärmung des Gewebes über. Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen sind hier noch vergleichsweise wenig untersucht. Zwar existieren auch für diesen Bereich fundierte Grenzwerte, deren genauere Erforschung der möglichen Wirkungen wird von internationalen Gremien aber noch eine hohe Bedeutung zugemessen (SCENIHR 2015; WHO 2005a).

Eine längerfristige Erhöhung der Körperkerntemperatur um mehr als 1 °C gilt als gesundheitsschädlich

Bei EMF im *Hochfrequenzbereich* (ab 10 MHz) dominiert die Wärmewirkung auf das Körpergewebe. Die Wärme entsteht als Reibungswärme bei der Bewegung benachbarter Moleküle und geladener Teilchen im Gewebe. Die sehr schnelle Bewegung dieser Teilchen wird durch die Kraftausübung der elektrischen Komponente des EMF auf elektrisch geladene Gruppen der Moleküle und auf freie Ladungsträger (Ionen) ausgelöst. Die Grenzwerte sind so gewählt, dass keine übermäßige Erwärmung des Körpergewebes stattfinden kann. Eine längerfristige Erhöhung der Körperkerntemperatur



Foto: © klamb_s/Thinkstock

Die im häuslichen Wohnumfeld vorkommenden elektromagnetischen Felder müssen in Deutschland und anderen Ländern bestimmte Grenzwerte und Gerätenormen aufweisen

um mehr als 1 °C gilt dabei als Schwelle für eine gesundheitsschädliche Einwirkung. Experimente zeigten, dass dies bei einer feldbedingten Energieabsorption im Körper über ca. 30 Minuten bei einer spezifischen Absorptionsrate (SAR) von 4 W/kg eintritt, wenn die Felder gleichmäßig auf den ganzen Körper einwirken. Vorsorglich wurde der empfohlene Basisgrenzwert für die Allgemeinbevölkerung mit einem Sicherheitsfaktor von 50 bei 0,08 W/kg für die Exposition des ganzen Körpers festgelegt. Bei der lokalen Exposition eines Körperteils, z. B. mit einem Mobiltelefon am Ohr, gilt eine SAR von 2 W/kg als Grenze.

Weitere diskutierte Wirkungen der Felder

Neben den akuten Wirkungen, die klar erwiesen sind, werden weitere Wirkungen der Felder diskutiert, und zwar bei zum Teil weit unterhalb der Grenzwerte liegenden Feldstärken.

Elektrosensibilität

Bei der Entwicklung gesundheitlicher Beschwerden durch die Einwirkung von EMF klagen Betroffene über eine Vielzahl verschiedener, eher unspezifischer Symptome, wie z. B. Müdigkeit, Schwindel oder Schmerzen. Während die Symptome klar nachweisbar sind, konnte ein ursächlicher Zusammenhang mit der Einwirkung von EMF unterhalb der Grenzwerte bis heute

nicht wissenschaftlich belegt werden. Die WHO betrachtet Elektrosensibilität mangels eindeutiger Diagnosekriterien nicht als ein medizinisches Krankheitsbild und stellt in Frage, ob es sich um ein eigenständiges medizinisches Problem handelt (WHO 2005b).

Krebs und Kinderleukämie

Bezüglich lang andauernder häuslicher oder beruflicher Exposition gegenüber *niederfrequenten Magnetfeldern* ergaben sich bei Erwachsenen keine Hinweise auf ein erhöhtes Krebsrisiko (z. B. Leukämie, Brustkrebs oder Hirntumor; SSK 2008). Bei Kindern wurde jedoch in epidemiologischen Studien ein erhöhtes Risiko für Kinderleukämie bei längerer Exposition gegenüber magnetischen Flussdichten über 0,3–0,4 μT festgestellt. Dies veranlasste die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) dazu, niederfrequente Magnetfelder als „möglicherweise krebserregend“ (2B) einzustufen (IARC 2002). Die Ergebnisse der epidemiologischen Studien konnten jedoch durch Tierexperimente nicht bestätigt werden, und die Wissenschaft kennt bislang auch keinen Wirkungsmechanismus, mit dem die Entstehung von Leukämie bei schwachen Magnetfeldern erklärt werden könnte.

Zu länger andauernder Exposition gegenüber *hochfrequenten EMF* konzentrierte sich die Forschung neben Rundfunk, Radar und anderen hochfrequenten Feldquellen in den letzten 20 Jahren immer mehr auf den

Mobilfunk. Da der Kopf durch Mobiltelefone am stärksten exponiert wird, wurden überwiegend Hirntumore untersucht. Die IARC stufte hochfrequente Felder nach einer zusammenfassenden Bewertung der Studien zu Krebserkrankungen auch hier als „möglicherweise krebserregend“ ein (IARC 2013). Ausschlaggebend waren epidemiologische Studien, die zum Teil auf ein erhöhtes Risiko für zwei Hirntumorarten bei intensiver Mobiltelefonnutzung hindeuteten. Für andere Krebsarten (z. B. Leukämie, Lymphom, Brustkrebs, Hodentumor) ergaben sich keine ausreichenden Hinweise auf einen Zusammenhang. Da Studien mit Beobachtungszeiträumen von mehr als 15 Jahren zurzeit noch fehlen, empfahl die WHO weitere Forschung zur Langzeitexposition durch Mobiltelefone, vor allem unter Berücksichtigung von Kindern und Jugendlichen (WHO 2010, 2014) – denn diese werden Mobilfunkdienste im Laufe ihres Lebens insgesamt wesentlich länger nutzen als heutige Erwachsene.

Neurodegenerative Erkrankungen

Die bis heute vorliegenden Studien machen es unwahrscheinlich, dass es durch häusliche wie berufliche Exposition gegenüber *niederfrequenten (50/60 Hz) Magnetfeldern* zu einem erhöhten Risiko für Parkinson-Krankheit und Multiple Sklerose (MS) kommt. Für beruflich stark exponierte Personen gibt es jedoch in einigen Berufsgruppen Hinweise auf ein leicht erhöhtes Risiko, an amyotropher Lateralsklerose (ALS) oder Alzheimer-Krankheit zu erkranken. Bei Expositionen im Alltag gibt es aus bislang nur wenigen Studien vereinzelte Hinweise, die auf ein erhöhtes Alzheimer-Risiko hindeuten (BFE 2016). Neurodegenerative Erkrankungen sind jedoch allgemein schwer zu untersuchen, da es keine offiziellen Register gibt und die Diagnose und Expositionsabschätzung teilweise schwierig sind. Auch hier muss weitere Forschung noch für eine eindeutige Klärung sorgen.

Schlussfolgerung

Es wurde ein Überblick über die im Wohnumfeld vorkommenden EMF und ihre möglichen Wirkungen gegeben. Dabei haben die von Haushaltsgeräten erzeugten niederfrequenten Magnetfelder und Zwischenfrequenzfelder sowie die von häuslichen Funkanwendungen (insbesondere von Mobiltelefonen) ausgesendeten Felder eine vor-

rangige Bedeutung. Die in Deutschland und vielen anderen Ländern geltenden Grenzwerte und Geräthenormen schützen unseren Körper vor übermäßiger Exposition, auch unter Berücksichtigung der Mehrfachexposition durch viele gleichzeitig betriebene Geräte und Anlagen. Entscheidend dafür sind die in den Grenzwerten berücksichtigten großen Sicherheitsreserven. Wer sich oder andere – zum Beispiel Kinder – dennoch vor den Feldemissionen schützen möchte, kann dies grundsätzlich durch Vergrößerung des Abstands zu den Feldquellen (auch nachts) sowie durch einfache Verhaltensmaßnahmen tun, wie z. B.:

- vollständiges Abschalten der Geräte bei Nichtbenutzung (kein Standby-Modus),
- möglichst kurze Benutzungsdauer (z. B. bei Handys),
- Verwendung von Geräten, die als strahlungsarm gekennzeichnet sind,
- Verwendung von Headsets beim Mobiltelefonieren,
- Datenverkehr und/oder WLAN bei mobilen Geräten nur im Bedarfsfall einschalten.

Da es in einigen Fragen noch letzte wissenschaftliche Unsicherheiten und entsprechenden Forschungsbedarf gibt, werden solche und weitere vorsorglichen Maßnahmen vom BfS empfohlen (siehe BfS 2017).

Literatur

ICNIRP: *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*. *Health Phys* 1998; 74: 494–522.

ICNIRP: *Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields*. *Health Phys* 2009; 96: 504–514.

ICNIRP: *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)*. *Health Phys* 2010; 99: 818–836.

LUBW/LfU: *Elektromagnetische Felder im Alltag – Aktuelle Informationen über Quellen, Einsatz und Wirkungen*. 2. Aufl. Karlsruhe, Augsburg: LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg und Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2010.

Die vollständige Literaturliste kann online zu dem Beitrag auf der ASU-Homepage eingesehen werden: www.asu-arbeitsmedizin.com

KOAUTOREN

Koautoren des vorliegenden Beitrags sind: Sarah Drießen, Dagmar Dechent und Dominik Stunder

WEITERE INFOS



26. BImSchV: *Verordnung über elektromagnetische Felder in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2013 (BGBl. I S. 3266)*, 2013 https://www.gesetze-im-internet.de/bimsv_26/



IARC (Hrsg.): *Non-ionizing radiation, part 1: static and extremely low frequency (ELF) electric and magnetic fields*. *IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans, Volume 80*. Lyon: IARC Press, 2002 <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol80/mono80.pdf>



IARC (Hrsg.): *Non-ionizing radiation, part 2: radiofrequency electromagnetic fields*. *IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Volume 102*. Lyon: IARC Press, 2013 <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol102/mono102.pdf>



SCENIHR: *Final opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)*. 2015 https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf



Bundesamt für Strahlenschutz: *SAR-Wert* http://www.bfs.de/SiteGlobals/Forms/Suche/BfS/DE/SARsuche_Formular.html



Bundesamt für Strahlenschutz: *Intelligente Stromzähler – Smart Meter* http://www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/anwendung/smart-meter/smart-meter_node.html



Bundesamt für Strahlenschutz: *Anwendungen hochfrequenter Felder* http://www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/anwendung/anwendung_node.html



Bundesamt für Strahlenschutz: *Mikrowellenkochgeräte* http://www.bfs.de/DE/themen/emf/hff/anwendung/mikrowelle/mikrowelle_node.html