

## Mobilkommunikation und Gesundheit

# Wie stark werden wir bestrahlt?

Martin Röösl, Stefan Dongus, Basel

■ Trotz der verbreiteten Nutzung von drahtlosen Kommunikationstechnologien ist in der Bevölkerung das Unbehagen hinsichtlich möglicher gesundheitlicher Folgen hoch. Bei den wiederkehrenden repräsentativen Befragungen im Rahmen des «Mobilfunkmonitors» glauben rund 50-60% der Befragten an negative gesundheitliche Auswirkungen von Mobilfunk oder geben an, solche bereits erlebt zu haben. Dieser Anteil hat sich seit 2003 kaum verändert. Mit der bevorstehenden Einführung des Mobilfunkstandards 5G «New Radio» (**Kasten**) rückt die Frage nach möglichen gesundheitlichen Wirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) wieder verstärkt in den Fokus der Öffentlichkeit.

### HF-EMF-Exposition im Alltag

HF-EMF sind nicht wahrnehmbar. Daher ist wenig bekannt, wie stark wir im Alltag tatsächlich exponiert sind. Man unterscheidet hierbei zwischen körpernah betriebenen Geräten wie Mobil- und Schnurlostelefonen und körperfernen Strahlungsquellen wie Mobilfunkbasisstationen oder Radio- und Fernsehantennen. Für Erstere ist die spezifische Absorptionsrate (SAR-Wert) die massgebende Expositionsgrösse, für Umweltexpositionen die elektrische Feldstärke in Volt pro Meter. Entsprechend gibt es auch unterschiedliche Grenzwerte für Situationen, bei denen der ganze Körper bestrahlt wird, und Situationen, bei denen lokal nur ein Teil des Körpers betroffen ist (**Abb. 1**).

### Emissionen von Mobil- und Schnurlostelefonen

Mobiltelefone besitzen eine Leistungsregelung. Der Unterschied zwischen maximaler und minimaler Strahlungsleistung kann je nach Verbindungsqualität und System einen Faktor 100 000 ausmachen. In städtischen Gebieten ist die Sendeleistung von Mobiltelefonen wegen des dichteren Antennennetzes deshalb im Durchschnitt geringer als in ländlichen Gebieten [1]. Mobiltelefone strahlen aber nicht nur bei ihrer Nutzung, sondern auch im Stand-by-Betrieb, um die Konnektivität aufrecht zu erhalten und auf dem

Smartphone installierte Applikationen laufend zu aktualisieren.

Die maximale Emission von Schnurlostelefonen ist um den Faktor 10 tiefer als bei Mobiltelefonen. Jedoch haben die meisten Schnurlostelefone keine Leistungsregelung, so dass die mittlere Strahlenbelastung während eines Telefonats ähnlich hoch wie beim Mobiltelefon sein kann.

### HF-EMF in der Umwelt

Die alltägliche HF-EMF-Exposition von körperfernen Quellen wurde in der Schweiz letztmals 2015 bei 115 zufällig ausgewählten Personen aus dem Kanton Zürich erhoben [2]. Für die Studienteilnahme wurden Jugendliche (12–15 Jahre) und ihre Eltern sowie junge Erwachsene (18–30 Jahre) aus zwölf Gemeinden ausgewählt, welche die ganze Bandbreite von ländlich bis städtisch repräsentierten. Die Studienteilnehmenden trugen während 48–72 Stunden ein tragbares Messgerät (ExpoM-RF) bei sich, das alle vier Sekunden einen Messwert für zwölf Frequenzbänder von FM Radio (87,5 MHz) bis LTE Mobilfunkbasisstationen (2690 MHz) und die GPS-Koordinaten des jeweiligen Aufenthaltsortes aufzeichnete. Die Studienteilnehmer führten zudem ein Aktivitätstagebuch. Die mittlere gemessene persönliche Exposition im Studienkollektiv betrug 0,18 V/m (Maximalwert: 0,42 V/m) (**Abb. 1**), wobei die Hauptbeiträge von Mobilfunkbasisstationen (Downlink: 38%) und von Mobiltelefonen (Uplink:

### 5G «New Radio»

Die Mobilkommunikationstechnologie verändert sich rasch. Nach dem NATEL («Nationales Autotelefon») wurde anfangs der 90er Jahre als 2. Generation die GSM-Technologie («Global System for Mobile Communications») eingeführt, gefolgt von UMTS («Universal Mobile Telecommunications System», 3. Generation), und LTE («Long Term Evolution», 4. Generation). Zurzeit wird die 5. Generation (5G, «New Radio») standardisiert und bis Ende 2019 werden erste 5G-kompatible Endgeräte erwartet. Mit 5G wird die Datenrate weiter erhöht und die Latenzzeit wird erheblich kürzer sein, was für Applikationen wie selbstfahrende Autos hilfreich ist. Mit 5G wird es auch möglich sein, die Strahlung flexibel dorthin zu bündeln, wo gerade intensiv Daten übermittelt werden. 5G wird vorerst die Frequenz 3500 MHz nutzen. Später werden Bänder im Bereich von 24–29 GHz und 37–40 GHz dazukommen. Je höher die Frequenz, desto höher die Bandbreite. Die Eindringtiefe in den Körper und in Gebäude nimmt mit zunehmender Frequenz ab. Die hohen Frequenzen >6 GHz werden also in erster Linie für Sichtverbindungen genutzt werden.



**Prof. Dr. Martin Röösl**  
Leiter Einheit für Umwelt und Gesundheit  
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut  
Socinstrasse 57, 4051 Basel  
  
Universität Basel  
Petersplatz 1, 4051 Basel  
martin.roosli@swisstph.ch

**TAKE-HOME-MESSAGES**

- Der Grossteil der HF-EMF-Dosis stammt von der Nutzung körpfernah betriebener Geräte wie Mobil- oder Schnurlostelefonen. Es gibt Hinweise für biologische Effekte bei hohen Expositionen (z.B. Mobiltelefon in Kopfnähe: Zunahme reaktiver Sauerstoffspezies, Veränderungen der Hirnströme).
- Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat HF-EMF 2011 als ev. kanzerogen (Gruppe 2B) klassiert. Bisher wurde weltweit jedoch keine Zunahme von Hirntumoren festgestellt.
- Akute Beschwerden durch HF-EMF konnten in doppelblind durchgeführten randomisierten Studien im Labor nicht nachgewiesen werden, und die wenigen longitudinalen epidemiologischen Studien finden keinen Hinweis für Langzeitwirkungen.
- Im Umgang mit EMF-Patienten empfiehlt es sich, auf die Differenzialdiagnostik und die Behandlung der Beschwerden zu fokussieren und der Kausalitätsfrage – obwohl häufig wichtig für die Patienten – nicht zu viel Gewicht einzuräumen.

35%) stammten. Weniger relevant waren Rundfunk (18%), WLAN (5%) und Schnurlostelefone (4%) (Abb. 2). Am höchsten war die HF-EMF-Exposition im Durchschnitt in öffentlichen Verkehrsmitteln. Die tiefsten Werte wurden in Schulen und Zuhause gemessen. Die Unterschiede zwischen ländlichen und städtischen Gebieten waren relativ gering. Tendenziell nahm jedoch der Downlink mit zunehmender Urbanität zu (Abb. 3).

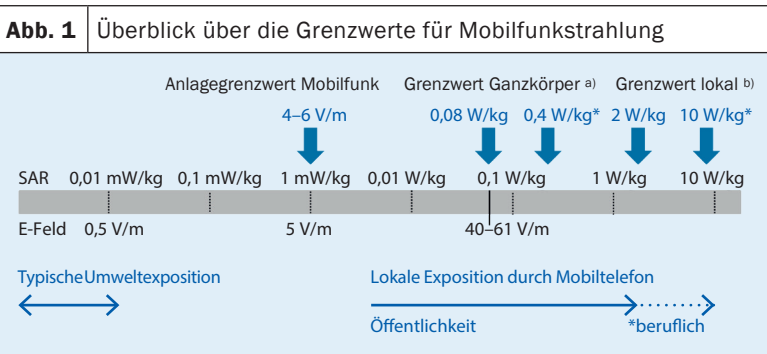
Abbildung 4 zeigt einen Vergleich der persönlichen mittleren HF-EMF-Exposition der Erwachsenen bei der Zürcher Messstudie [2] mit der gemessenen Exposition in der QUALIFEX-Studie [3], welche 2007/2008 mit ähnlicher Methodik in der Region Basel durchgeführt wurde. Die mittlere HF-EMF-Exposition betrug in QUALIFEX 0,22 V/m und in der Zürcher Messstudie 0,18 V/m. Früher war insbesondere der Beitrag durch DECT-Schnurlostelefone und Mobiltelefone höher als bei der Zürcher Messstudie. Das zeigt, dass eine zunehmende Nutzung von drahtlosen Kommunikationsgeräten nicht unbedingt eine Zunahme der HF-EMF-Exposition bedeuten muss, da dies mit höherer Effizienz und verbesserter Leistungskontrolle kompensiert werden kann.

**Beitrag von Mobiltelefonen und Basisstationen zur kumulativen Dosis**

Mit zunehmendem Abstand von der Quelle nimmt HF-EMF stark ab: Eine Verdoppelung der Distanz zur emittierenden Quelle führt zu einer Halbierung der Feldstärke. Deshalb wird der Kopf durch ein Mobiltelefon am Ohr etwa 1000 bis 100000 Mal stärker bestrahlt als durch die üblichen Umweltquellen [4]. Die Expositionsdauer ist bei körpfernah betriebenen Geräten jedoch im Allgemeinen weniger lang. Eine Abschätzung der Beiträge der verschiedenen HF-EMF-Quellen zur kumulativ absorbierten HF-EMF-Dosis des Gehirns und des ganzen Körpers anhand der Zürcher EMF-Messstudie ergab, dass beim Gehirn 96% der gesamten Dosis von rund 600 mJ pro Tag und pro Kilogramm Körpergewicht von körpfernah betriebenen Geräten stammt (Abb. 5). Am relevantesten sind Mobiltelefonanrufe, die 78% zur kumulativen Dosis beitragen. Körperferne Quellen tragen nur minimal zur Gehirndosis bei (4%). Auch in Bezug auf die Ganzkörperdosis von ca. 200 mJ/kg/Tag tragen körpferne Quellen nur 10% bei. Dabei stammen etwa 5% der gesamten HF-EMF Dosis von Mobilfunkbasisstationen.

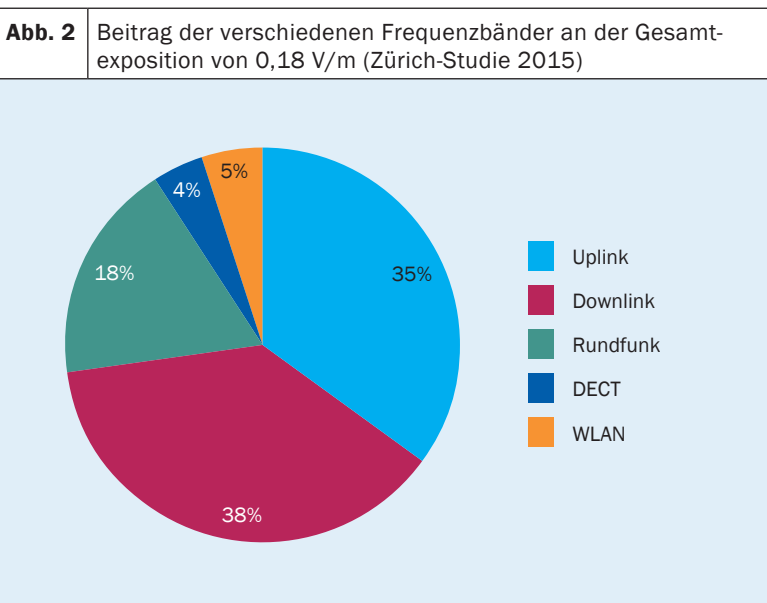
**Gesundheitliche Auswirkungen durch HF-EMF**

In vitro- und in vivo-Studien fanden teilweise Effekte von HF-EMF auf Durchblutung und Stoffwechsel des Gehirns, Apoptose, reaktive Sauerstoffspezies (ROS) sowie Gen- und Proteinexpression [5]. Studien an Menschen fanden Einflüsse auf die Hirnströme und auf kognitive Funktionen. Solche Effekte wurden bei Expositionen, wie sie bei der Benutzung eines Mobiltelefons am Kopf auftreten können, oder bei höheren Expositionen beobachtet, nicht aber bei schwächeren Umweltexpositionen. Wie und ob sich diese biologischen Effekte langfristig auf die Gesundheit auswirken, ist noch unklar.



Quelle: Martin Röösli

Es gibt einen Grenzwert (a) für den ganzen Körper durch körpferne Quellen und (b) für lokale Bestrahlung, wie sie bei der Mobiltelefonnutzung entsteht. Der Grenzwert für berufliche Exposition ist jeweils 5 x höher (\*). Zusätzlich kennt die Schweiz einen Anlagegrenzwert, der an Orten mit empfindlicher Nutzung (z.B. Wohnungen, Schulen, Spitäler) eingehalten werden muss. SAR=Spezifische Absorptionsrate, E-Feld=Elektrische Feldstärke. Die Umrechnung von SAR in E-Feld ist frequenzabhängig und nur für das homogene Feld möglich (nicht für lokale Expositionen).



nach [2]

Downlink: Mobilfunkbasisstationen; Uplink: Mobilfunktelefone; DECT: Digitale Schnurlostelefone

**Tumoren im Kopfbereich**

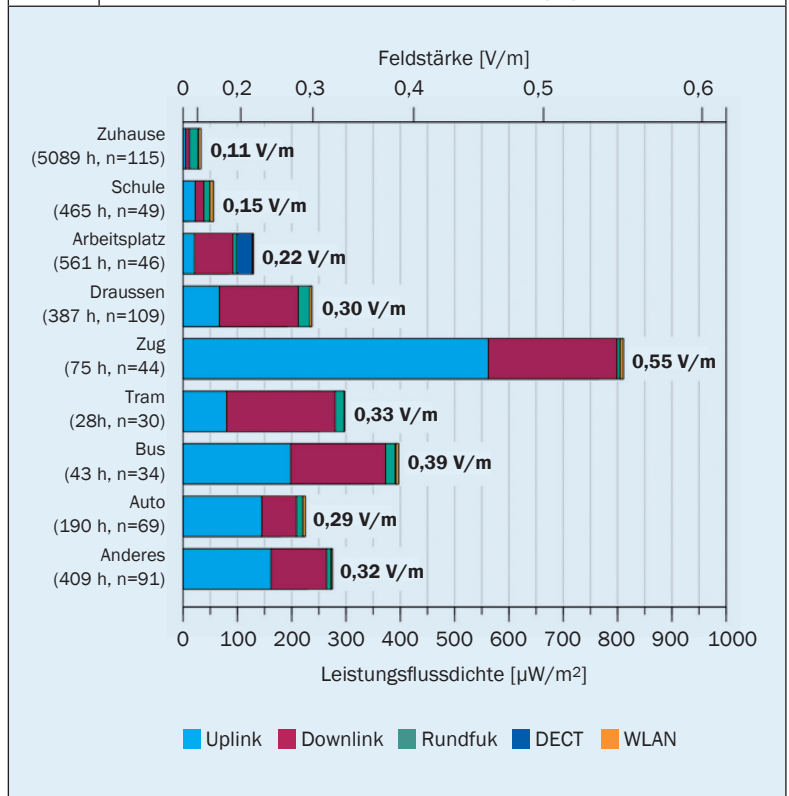
Da der Kopf am stärksten exponiert ist, konzentriert sich die epidemiologische Forschung zur Kanzerogenität von HF-EMF auf Tumoren im Kopfbereich. Vereinzelt wurden in Fallkontrollstudien bei intensiver Mobiltelefonnutzung erhöhte Risiken für Gliome oder Akustikusneurinome beobachtet. Darum hat die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) HF-EMF im Jahr 2011 als möglicherweise kanzerogen (Gruppe 2B) klassiert [6]. Eine neue Metaanalyse aller bis Ende 2017 publizierten Studien findet aber keinen Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Gliomen, Meningeomen und Akustikusneurinomen sowie für Tumoren der Hypophyse oder Speicheldrüsen [7]. Da bereits im Jahr 2000 50% aller Europäer ein Mobiltelefon nutzten, müsste sich ein allfälliges Tumorrisiko schlussendlich auch in einer Zunahme der Neuerkrankungen manifestieren. In aktuellen Auswertungen der Krebsregisterdaten aus Skandinavien, England oder den USA war dies bisher nicht festzustellen [7]. Damit lässt sich ein stark erhöhtes Risiko durch Handy-nutzung, wie es in einzelnen Studien berichtet wurde, ausschliessen. Ein allfälliges Erkrankungsrisiko ist also relativ gering, betrifft nur bestimmte histologische Tumorformen oder manifestiert sich erst nach langer Latenzzeit (>15) Jahre.

**Gesundheitsbeschwerden durch «Elektrosmog»**

Im Zusammenhang mit EMF kommen in der Arztpraxis am häufigsten Beschwerden wie Kopfschmerzen, Schlaf- oder Konzentrationsstörungen zur Sprache [8]. Die Betroffenen sprechen dann häufig vom möglichen Auslöser «Elektrosmog», was sowohl nieder- als auch hochfrequente Felder umfassen kann und sich meistens auf körperferne Quellen bezieht. Man bezeichnet dies als elektromagnetische Hypersensibilität oder idiopathische Umwelt-Intoleranz, die auf EMF zurückgeführt wird.

In einer Vielzahl von experimentellen Studien wurde unter doppelblinden und randomisierten Bedingungen das akute Auftreten von Beschwerden untersucht. Die grosse Mehrheit dieser Studien fand keinen Hinweis für einen Effekt durch HF-EMF [9]. Es fanden sich auch keine Hinweise, dass es Personen gibt, die besonders sensibel auf EMF reagieren oder solche Felder wahrnehmen können, wie das häufig von den Betroffenen geschildert wird [10,11]. Diese Provokationsstudien fanden dafür starke Hinweise für Nocebo-Effekte. Wenn die Probanden überzeugt waren oder bei offen deklarierten Provokationen wussten, dass sie exponiert sind, traten erheblich mehr und stärkere Symptome auf. Auch in den meisten epidemiologischen Studien mit methodisch guter Expositionsabschätzung wurde keine langfristige Beeinträchtigung des Wohlbefindens durch körperferne HF-EMF-Quellen beobachtet. Jedoch zeigen viele Studien eine negative Korrelation zwischen der Dauer der Mobiltelefonnutzung und dem Befinden. Vertiefte Abklärungen deuten aber darauf hin, dass dies nicht auf die HF-EM-Exposition zurückzuführen ist, sondern auf andere Aspekte der Mobiltelefonnutzung oder methodische Unzulänglichkeiten.

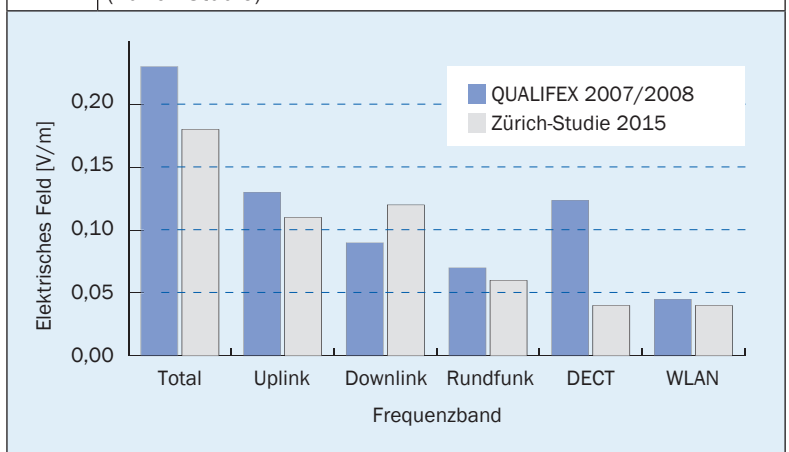
**Abb. 3** Vergleich der persönlichen HF-EMF-Exposition an verschiedenen Orten der Zürcher Studienpopulation



Die Aktivität «Anderes» bezieht sich auf alle anderen Tätigkeiten bzw. Aufenthaltsorte.

nach [2]

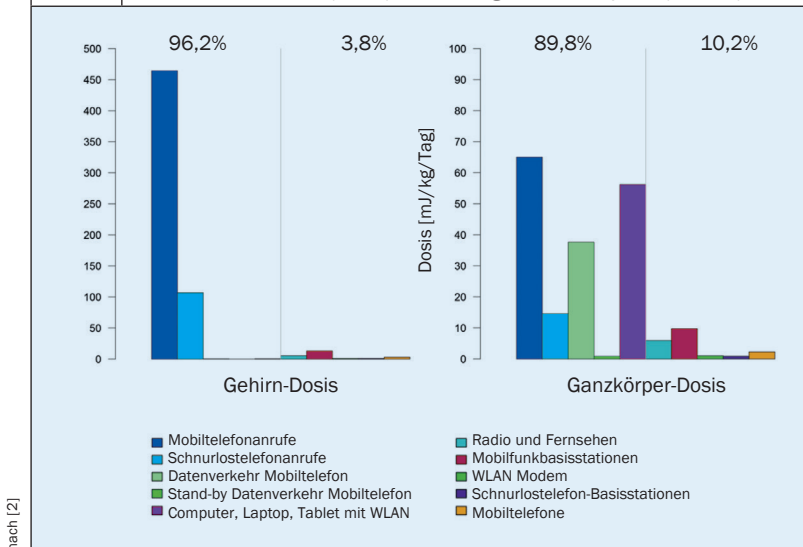
**Abb. 4** Vergleich der persönlichen HF-EMF-Exposition in zwei Messstudien aus der Schweiz von 2007/2008 (Qualifex) und 2015 (Zürich-Studie)



Das Total aller Frequenzbänder ergibt sich aus der Wurzel der Summenquadrate der einzelnen Bänder. Downlink: Mobilfunkbasisstationen; Uplink: Mobilfunktelefone; DECT: Digitale Schnurlostelefone.

Quelle: Martin Röösli

**Abb. 5** Überblick über die durchschnittliche 24 h-kumulative HF-EMF-Dosis des Gehirns (links) und des ganzen Körpers (rechts)



Man beachte die unterschiedliche Skalierung. Die Prozentwerte geben jeweils die Anteile von körperrnah (links) und körperferrn (rechts) betriebenen HF-EMF-Quellen an der Gesamtdosis an.

Literatur:

- Kühn S, Kuster N: Field Evaluation of the Human Exposure from Multiband, Multisystem Mobile Phones. *IEEE Trans on EMC* 2013; 55(2): 275–287.
- Röösli M, et al.: Persönliche Messungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern bei einer Bevölkerungsstichprobe im Kanton Zürich 2016. Bericht im Auftrag des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) in Zürich. [www.awel.zh.ch](http://www.awel.zh.ch), letzter Abruf 21.01.2019.
- Frei P, et al.: Temporal and spatial variability of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields. *Environ Res* 2009; 109(6): 779–785.
- Lauer O, et al.: Combining near- and far-field exposure for an organ-specific and whole-body RF-EMF proxy for epidemiological research: A reference case. *Bioelectromagnetics* 2013; 34: 366–374.
- Hug K, et al.: Beurteilung der Evidenz für biologische Effekte schwacher Hochfrequenzstrahlung. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) Bern 2014. [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch), letzter Abruf 21.01.2019.
- Baan R, et al. (on behalf of the WHO International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group): Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *The Lancet Oncology* 2011; 12(7): 624–626.
- Röösli M, et al.: Brain and salivary gland tumours and mobile phone use: evaluating the evidence from various epidemiological study designs. *Ann Rev Public Health* 2019; 40: [doi.org/10.1146/annurev-publhealth-040218-044037](https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-040218-044037) [in press].
- Huss A, Röösli M: Consultations in primary care for symptoms attributed to electromagnetic fields. A survey among general practitioners. *BMC Public Health* 2006; 6: 267.
- Augner C, et al.: Acute effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on subjective well-being and physiological reactions: a meta-analysis. *Sci Total Environ* 2012; 424: 11–15.
- ANSES: Hypersensibilité électromagnétique ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques. Paris: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) 2018. [www.anses.fr](http://www.anses.fr), letzter Abruf 21.01.2019.
- Hug K, Röösli M: Elektromagnetische Hypersensibilität. Bewertung von wissenschaftlichen Studien. Stand Ende 2011. Bern: Bundesamt für Umwelt 2012. [www.bafu.admin.ch/publikationen](http://www.bafu.admin.ch/publikationen), letzter Abruf 21.01.2019.
- Röösli M, et al.: Umweltmedizinisches Beratungsnetzwerk von Hausärzten: ein Schweizer Pilotprojekt. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 2011; 16(3): 123–132.
- Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz: Umweltmedizinische Beratung. [www.aefu.ch/themen/umweltmed-beratung](http://www.aefu.ch/themen/umweltmed-beratung), letzter Abruf 21.01.2019.

nach [2]