Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Basel ; Naturforschende Gesellschaft Baselland

Band: 15 (2014)

Artikel: Unsichtbare Wellen : wie die Emissionen der mobilen Kommunikation und des Stroms unsere Gesundheit beeinflussen

Autor: Röösli, Martin / Struchen, Benjamin / Urbinello, Damiano

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-676587

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Unsichtbare Wellen: wie die Emissionen der mobilen Kommunikation und des Stroms unsere Gesundheit beeinflussen

Martin Röösli, Benjamin Struchen, Damiano Urbinello
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut, Basel
Universität Basel, Schweiz

Zusammenfassung: Wo Strom fliesst, entstehen niederfrequente Magnetfelder (NF-MF) und drahtlose Kommunikationsgeräte emittieren hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF). Haupteinflussfaktoren auf die durchschnittliche persönliche NF-MF-Exposition sind Hochspannungsleitungen oder Transformatoren am Wohn- oder Arbeitsort. Die mittlere HF-EMF-Exposition ist vor allem durch die Nutzung von körpernah betriebenen Geräten wie Mobil- oder Schnurlostelefone bestimmt.
Mögliche Gesundheitseffekte durch alltägliche EMF-Belastungen werden kontrovers diskutiert. Die Krebsforschungsagentur IARC in Lyon hat sowohl NF-MF wie auch HF-EMF als möglicherweise kanzerogen klassiert. Epidemiologische Studien fanden konsistent eine Zunahme von Kinderleukämien, wenn im Kinderzimmer die mittlere NF-MF-Exposition grösser als 0.4 µT war. Das würde bedeuten, dass rund 1–4 Prozent aller auftretenden Kinderleukämiefälle auf NF-MF zurückzuführen sind. Es fanden sich auch gelegentlich Hinweise für einen Zusammenhang zwischen der NF-MF-Belastung und Alzheimer-Erkrankungen sowie Amyotrophe Lateralsklerose (ALS). In Bezug auf Mobiltelefonnutzung fanden epidemiologische Studien vereinzelt Hinweise für ein erhöhtes Hirntumorrisiko bei intensiver oder langer Nutzungsdauer. Jedoch wurde bisher in Schweden, England oder den Vereinigten Staaten keine Zunahme der Hirntumorerkrankungen beobachtet, wie das zu erwarten wäre, wenn die Mobiltelefonnutzung ein erheblicher Risikofaktor wäre. Akute Beschwerden durch die Exposition gegenüber HF-EMF konnten in doppelblind durchgeführten randomisierten Studien im Labor nicht nachgewiesen werden. Jedoch ist die epidemiologische Datenlage für Langzeiteffekte auf das Befinden immer noch klein. Auch wenn gegenwärtig ein grosses individuelles Gesundheitsrisiko durch EMF unwahrscheinlich erscheint, wäre auch ein kleines Risiko gesellschaftlich bedeutsam, da die drahtlose Kommunikationstechnologie weit verbreitet ist.

Summary: Use of electricity causes extremely low frequency magnetic fields (ELF-MF) and wireless communication devices emit radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF). Average personal ELF-MF exposure is mainly determined by high voltage power lines and transformers at home or at the workplace or school, whereas RF-EMF exposure is mainly caused by devices operating close to the body (mainly mobile and cordless phones).
Health effects of EMF are controversially discussed. The IARC classified ELF-MF and RF-EMF as possible carcinogenic. Most consistent epidemiological evidence was found for an association between ELF-MF and childhood leukaemia. If causal, 1–4 percent of all childhood leukaemia cases could be attributed to ELF-MF. Epidemiological research provided some indications for an association between ELF-MF-exposure and Alzheimer's diseases as well as amyotrophic lateral sclerosis, although not entirely consistent. Regarding mobile phones and brain tumours, some studies observed an increased risk after heavy or long term use on the one hand. On the other hand, brain tumour incidence was not found to have increased in the last decade in Sweden, England or the US, which would be expected if mobile phone use was a relevant risk factor. Acute effects of RF-EMF on non-specific symptoms of ill health seem unlikely according to randomized and double blind prov-

ocation studies. However, epidemiological research on long term effects is still limited. Although from the current state of the scientific knowledge a large individual health risk from RF-EMF-exposure is unlikely, even a small risk would have substantial public health relevance because of the widespread use of wireless communication technologies.

Key words: extremely low frequency magnetic fields (ELF-MF), radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF), microwave, mobile phone base station, childhood leukaemia, brain tumour, neurodegenerative diseases, electromagnetic hypersensitivity.

Einleitung

Die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern (EMF) ist im heutigen Alltag unumgänglich. Wo Strom fliesst, entstehen niederfrequente elektrische und magnetische Felder. Drahtlose Kommunikationsgeräte wie Mobil- oder Schnurlostelefone emittieren hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF).

Umfragen zeigen, dass sich die Leute vor allem über Gesundheitsauswirkungen von festen Installationen (Mobilfunkbasisstationen oder Hochspannungsleitungen) Sorgen machen, weniger aber über Quellen, die sie selber nutzen und kontrollieren können wie Handys und elektrische Geräte [1]. Da EMF nicht wahrnehmbar sind, ist wenig bekannt wie stark wir im Alltag tatsächlich durch verschiedene EMF-Quellen belastet sind und wie es mit möglichen Gesundheitsauswirkungen aussieht.

Niederfrequente Magnetfelder (NF-MF)

Exposition im Alltag

Spitzenbelastungen von *niederfrequenten* Magnetfeldern (NF-MF) treten in der Nähe von elektrischen Apparaten mit hohen Leistungen wie Staubsauger, Bohrer oder Föhn auf [2]. Die Belastung nimmt aber bei elektrischen Apparaten sehr rasch mit der Distanz ab und die Expositionszeit ist üblicherweise kurz, so dass der Beitrag zur mittleren NF-MF-Belastung von diesen Quellen im Allgemeinen gering ist. Hochspannungsleitungen, Transformatoren und elektrische Leitungen in der Nähe vom Schlaf- oder Arbeitsplatz tragen daher entscheidend zur Durchschnittsbelastung einer Person bei [2, 3]. Hohe NF-MF-Belastungen treten auch in Zügen auf [4].

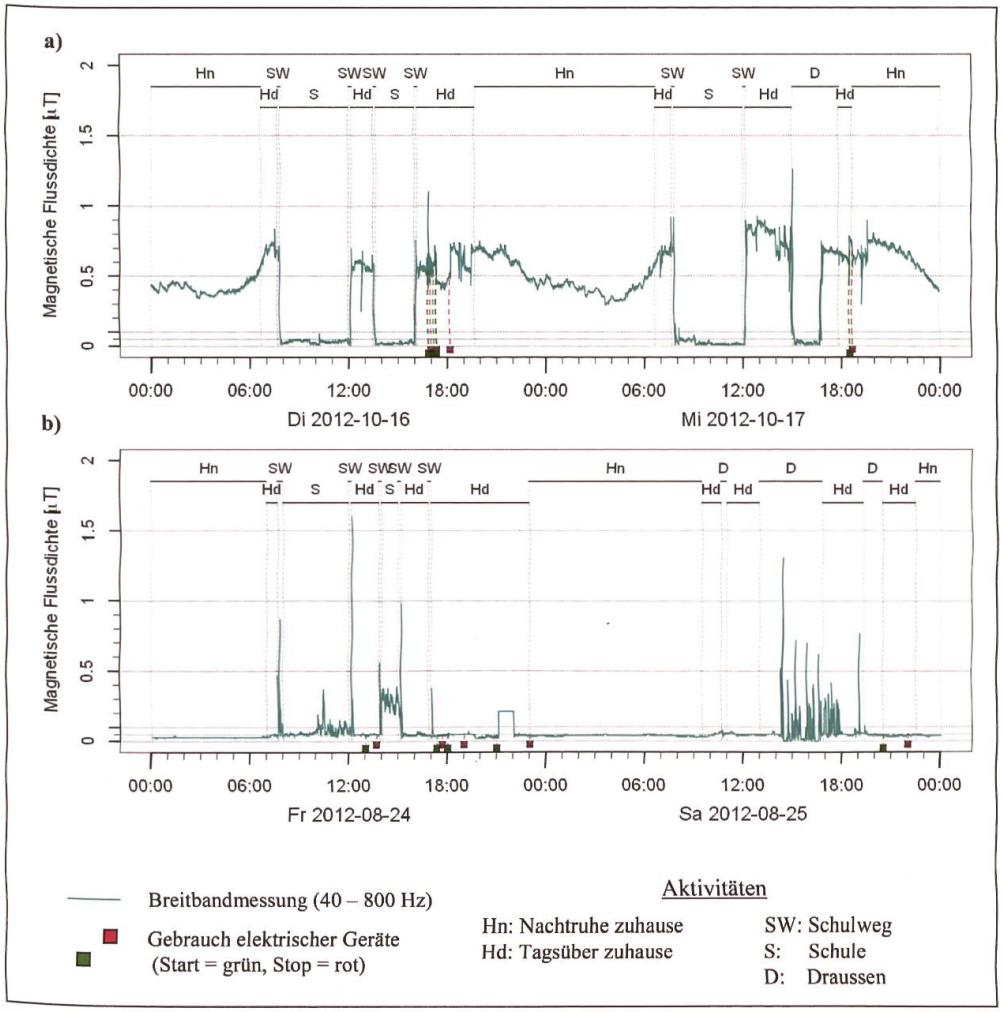

Abb. 1: Verlauf der NF-MF-Exposition zweier Studienteilnehmenden während 48 Stunden. Der Verlauf der NF-MF-Exposition wird in blau dargestellt. Jeweils im oberen Bildteil sind die Aktivitäten des Kindes aufgeführt (Abkürzungen siehe Legende). Die Symbole am unteren Rand der Graphiken signalisieren den Gebrauch elektrischer Geräte (Start = grün, Stop = rot). Der Teilnehmer a) wohnt 15 Meter entfernt von einer 380 kV Hochspannungsleitung und Teilnehmer b) stammt aus der Kontrollgruppe ohne dominierende Expositionsquelle am Wohnort.

Im Rahmen des internationalen Forschungsprojekts ARIMMORA (Advanced Research on Interaction Mechanisms of electromagnetic exposures with Organisms for Risk Assessment, http://arimmora-fp7.eu/) wird in der Schweiz eine Studie zur alltäglichen NF-MF-Exposition von Kindern durchgeführt, da bislang nur wenig über die tatsächliche Exposition von Kindern bekannt ist. Die meisten bisherigen Studien verwendeten stationäre Messungen am Wohnort oder Modellrechnungen, um die Exposition zu erfassen. Kinder sind aber oft auch ausserhalb ihres Zuhauses unterwegs, was das zeitliche und räumliche Expositionsmuster beeinflusst. Möglicherweise spielt das spezifische Expositionsmuster eine Rolle für allfällige biologische Wirkungen von NF-MF.

In der Schweiz wurden zu diesem Zweck 75 Kinder im Alter von 5–13 Jahren für eine Messstudie zur persönlichen NF-MF-Exposition rekrutiert. Um möglichst das ganze Expositionsspektrum abzubilden, wurden gezielt drei Gruppen von Kindern für die Studie ausgesucht: 1) Kinder, die innerhalb von 200 Metern von einer Hochspannungsleitung wohnen; 2) Kinder, die in einem Gebäude mit Transformatoren wohnen und 3) Kinder die weder in Kategorie 1) noch 2) fallen.

Die Kinder trugen während zweier Tage ein tragbares Exposimeter für NF-MF (EMDEX II) mit sich. Zusätzlich erhielten sie einen GPS-Logger, der die räumliche Position aufzeichnete.

Expositionsmass	Verteilung	
	Mittelwert	Maximum
Arithmetisches Mittel	0.08 µT	0.51 µT
Geometrisches Mittel	0.05 µT	0.26 µT
Median	0.06 µT	0.44 µT
25% Percentil	0.03 µT	0.32 µT
75% Percentil	0.08 µT	0.63 µT
95% Percentil	0.2 µT	2.84 µT
99% Percentil	0.42 µT	3.53 µT
Anteil Messwerte > 0.4 µT	2 %	60 %

Tab. 1: Überblick über die Verteilung der NF-MF-Exposition bei Schweizer Kindern. Aus 48-stündigen persönlichen Expositionsmessungen wurden verschiedene Expositionsmasse abgeleitet und dargestellt ist jeweils der Mittelwert sowie das Maximum im Studienkollektiv.

Die Aktivitäten der Kinder wurden mittels eines Tagebuchs erfasst. Ergänzt wurden die persönlichen Expositionsmessungen mit Punktmessungen im Kinderzimmer. Da der saisonal schwankende Energieverbrauch sowie die je nach Jahreszeit möglicherweise unterschiedlichen Bewegungsmuster der Kinder einen Einfluss auf die NF-MF-Exposition haben könnten, wurden die Messungen jeweils in der warmen und kalten Jahreszeit durchgeführt.

Abbildung 1 zeigt den Expositionsverlauf zweier Studienteilnehmer. Bei Studienteilnehmer A ist die NF-MF-Exposition zu Hause durch die 15 m entfernte 380 kV Hochspannungsleitung dominiert (Abbildung 1a). Studienteilnehmer B ist zu Hause wenig exponiert und kurzzeitige Spitzenwerte treten unterwegs auf, beispielsweise auf dem Schulweg (Abbildung 1b). In beiden Fällen ist jedoch der in der Schweiz gültige Immissionsgrenzwert von 100 µT und der strengere Anlagegrenzwert von 1 µT (24 h Mittelwert durch eine Anlage) eingehalten. Dies gilt auch für alle anderen Messungen in der Studie. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Verteilung der 48 h-Expositionsmessungen im Studienkollektiv nach Durchführung von 134 Messungen bei 67 Studienteilnehmenden. Im Durchschnitt beträgt die persönliche NF-MF-Exposition 0.07 µT. Die höchste gemessene mittlere Exposition während 48 h ist 0.51 µT. Es ist ersichtlich, dass hohe Expositionswerte relativ selten auftreten. Der Anteil von Messwerten oberhalb von 0.4 µT liegt im Durchschnitt bei zwei Prozent.

Gesundheitliche Auswirkungen durch NF-MF

Kinderleukämien wegen niederfrequenten magnetischen Feldern?

1979 wurde in einer epidemiologischen Studie aus den USA erstmals das Auftreten von Kinderleukämien mit der Exposition gegenüber NF-MF am Wohnort assoziiert [5]. Seither ist weltweit eine Vielzahl von Studien dieser Frage nachgegangen. Die meisten dieser Untersuchungen fanden ebenfalls erhöhte Risiken, und mehrere gepoolte Analysen kamen zum Schluss, dass sich das Kinderleukämierisiko ungefähr verdoppelt, wenn Kinder an ihrem Wohnort einer durchschnittlichen

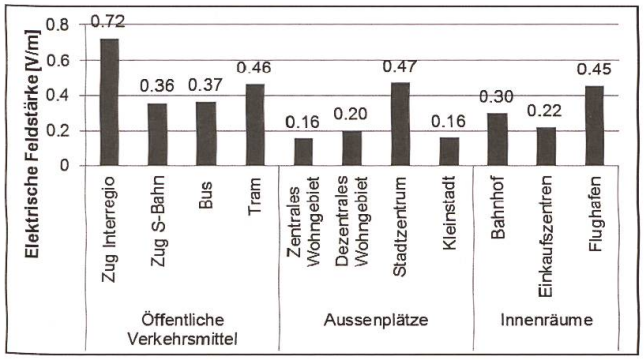

Abb. 2: Durchschnittliche HF-EMF-Belastung an verschiedenen Orten in Basel, gemessen zwischen Mai 2010 und April 2012.

NF-MF-Belastung von mehr als 0.3–0.4 µT ausgesetzt sind [6,7]. Weiterführende Analysen schlossen methodische Fehler als alleinige Erklärung für diese Studienresultate mit grosser Wahrscheinlichkeit aus [8]. Dennoch wurde in Zell- und Tierstudien bisher kein biologischer Mechanismus entdeckt, der die Befunde erklären könnte. Die IARC (International Agency for Research on Cancer) hat deshalb NF-MF als *möglicherweise* kanzerogen klassiert [9]. Für andere Krebserkrankungen, insbesondere bei Erwachsenen, ist die Evidenz für einen Zusammenhang klein.

Neurodegenerative Erkrankungen wegen niederfrequenten magnetischen Feldern?

Neben Kinderleukämien stehen neurodegenerative Erkrankungen im Verdacht durch NF-MF verursacht zu werden. In den letzten 10 bis 15 Jahren stellten mehrere Studien bei Personen, die am Arbeitsplatz stark NF-MF-exponiert sind, erhöhte Erkrankungsrisiken für amyotrophe Lateralsklerose (ALS) [10] und für Alzheimer-Demenz [11] fest. Die Resultate sind jedoch nicht konsistent, und es kann nicht ausgeschlossen werden, dass andere Faktoren als NF-MF diese Befunde verursacht haben. Beispielsweise wird vermutet, dass die ALS Befunde auf Stromschläge zurückzuführen sind, die bei NF-MF-exponierten Personen in elektrischen Berufen häufiger sind [12]. Wenig untersucht wurde bisher, ob NF-MF von Hochspannungsleitungen am Wohnort mit dem Auftreten von neuro-degenerativen Erkrankungen assoziiert ist. Für Höchstspannungsleitungen (> 200kV) fanden eine dänische und eine schweizerische Kohortenstudie für Personen in unmittelbarer Nähe (< 50 m) ein tendenziell erhöhtes Risiko (ca. 20–30 Prozent), an Alzheimer zu erkranken [13, 14]. Statistisch signifikant war es jedoch nur in der Schweizer Studie für Personen, die mindestens 10 Jahre am selben Ort gewohnt hatten (RR = 2.00, 95 % Konfidenzintervall: 1.21–3.33).

Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF)

Exposition im Alltag

In Bezug auf HF-EMF ist die Expositionssituation komplexer als für NF-MF, da mittlerweile

Organ	GSM-Nutzer (900 MHz) [mJ/kg]	UMTS-Nutzer [mJ/kg]	DECT-Schnurlos-telefone [mJ/kg]	Fernfeld-quellen [mJ/kg]	Anteil Fernfeld-belastung bei GSM-Nutzung*	Anteil Fernfeld-belastung bei UMTS-Nutzung*
Ganzkörper	111	0.7	27	35	20.2 %	55.8 %
Gehirn (graue Substanz)	1002	5	197	42	3.4 %	17.2 %
Hypothalamus	1109	5	187	27	2.0 %	12.3 %
Nervengewebe	23	0.09	4	7	20.6 %	63.1 %
Rotes Knochenmark	46	0.2	9	20	26.7 %	68.5 %
Hoden	0.7	0.001	0.03	76	99.0 %	100.0 %

* Separate Berechnung unter der Annahme einer ausschliesslichen GSM- oder UMTS-Nutzung.

Tab. 2: Vergleich der kumulativen Dosis für nicht-ionisierende Strahlung (absorbierte Energie) während 24 Stunden durch Nah- und Fernfeldquellen bei durchschnittlicher Fernfeldbelastung, Handy- und Schnurlostelefonbenutzung (adaptiert von [16]).

eine Vielzahl verschiedener Quellen mit unterschiedlichen Emissionscharakteristiken existiert. Grundsätzlich ist zwischen Geräten, die körpernah betrieben werden (z.B. Mobil- und Schnurlostelefone), und Strahlungsquellen, die körperfern operieren (z.B. Mobilfunkbasisstationen, Radio- und Fernsehsender) zu unterscheiden. Zu letzteren gehören auch die Mobiltelefone von anderen Personen, die in einigen Metern Abstand betrieben werden.

Strahlung von Handys

Die Nutzung der mobilen Kommunikation hat in den letzten zwei Jahrzehnten stark zugenommen und mittlerweile beträgt die Anzahl Mobiltelefonverträge weltweit rund 6.8 Milliarden [15]. Auch die Technik hat sich rapide verändert. Nach dem NATEL (Nationales Autotelefon) wurde Mitte der 90er Jahre die GSM-Technologie (Global System for Mobile Communications, 2. Generation) eingeführt, gefolgt von UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, 3. Generation), und zurzeit wird die 4. Mobilfunkstandard-Technologie namens LTE (Long Term Evolution) etappenweise in verschiedenen Städten ausgebaut. Die neuen Technologien erlauben eine grössere und schnellere Datenübertragung.

Körpernah betriebene Geräte wie Handys führen unter alltäglichen Bedingungen zu deutlich stärkeren lokalen Belastungen am Körper als ortsfeste Sendeanlagen. Der maximal auftretende momentane Energieeintrag durch ein

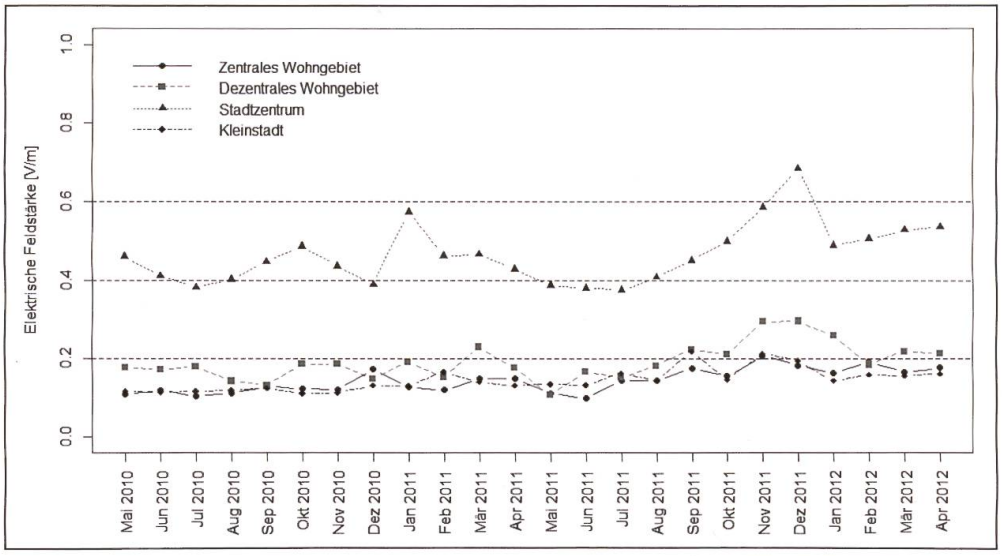

Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der HF-EMF an Aussenplätzen in der Region Basel.

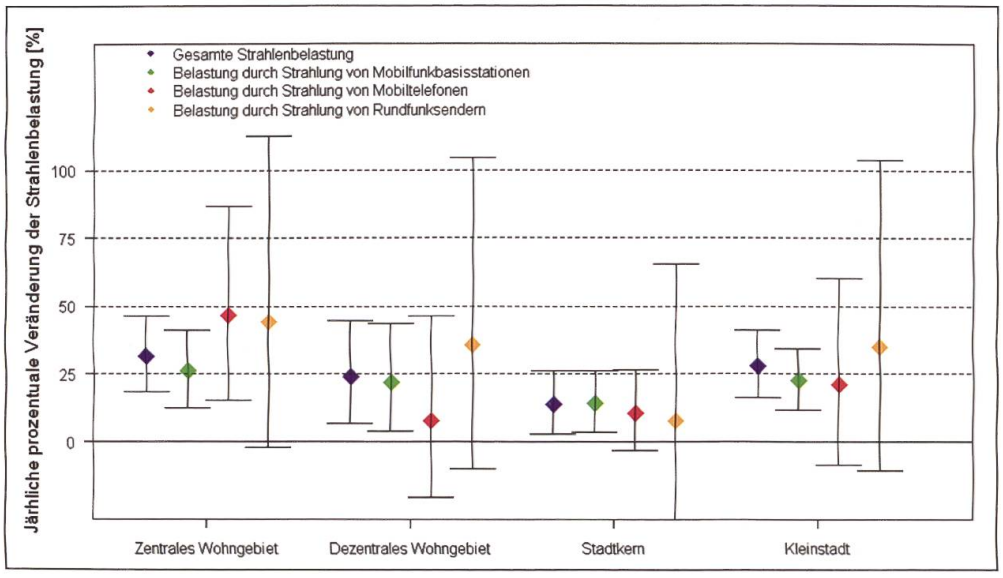

Abb. 4: Jährliche prozentuale Veränderung (inkl. 95 % Vertrauensintervall) der elektrischen Feldstärke für die gesamte Belastung durch HF-EMF (blau), für Strahlung von Mobilfunkbasisstationen (grün), für Strahlung von Mobiltelefonen (rot) und für Strahlung von Rundfunksendern (orange) an diversen Aussenplätzen.

Mobiltelefon am Kopf ist etwa 1'000 bis 100'000 Mal stärker als derjenige durch die üblichen Fernfeldquellen [16]. Mobiltelefone besitzen eine sogenannte Leistungsregelung. Je besser die Verbindung, desto weniger stark emittiert das Telefon. Der Unterschied zwischen maximaler und minimaler Strahlungsleistung ist ein Faktor 10'000. Beim GSM System startet das Telefon jeweils mit maximaler Leistung und reduziert dann die Emissionen auf das nötige Mass. Beim UMTS ist es umgekehrt, das Telefon startet mit minimaler Leistung und passt dann die Sendeleistung nach oben an, wenn nötig. Das hat zur Folge, dass bei UMTS Nutzung die durchschnittliche Strahlenbelastung rund 100 bis 500 Mal tiefer ist als bei GSM Nutzung [17]. Mobiltelefone strahlen aber nicht nur bei ihrer Nutzung, sondern häufig auch im Ruhemodus (Stand-by-Betrieb). Grund dafür ist die sogenannte Organisationskommunikation, welche Ortsaktualisierungen umfasst (location area updates), um die Konnektivität aufrecht zu erhalten, wenn das Mobiltelefon in ein Gebiet wechselt, welches von einer anderen Mobilfunk-Basisstation versorgt wird. Zudem führen viele auf Smartphones installierte Applikationen («Apps») laufend Aktualisierungen durch (z.B. Benachrichtigung der neusten Meldungen, Abfrage von E-Mails etc.).

Eine Messstudie in verschiedenen Verkehrsmitteln zeigte, dass die Belastung des eigenen Mobiltelefons im Stand-by-Betrieb einen erheblichen Einfluss auf die persönliche HF-EMF-Exposition hat [18]. Zum Beispiel war bei einer Autofahrt im ländlichen Gebiet die absorbierte Strahlung für den Fahrer rund 100 Mal höher, wenn sich ein eingeschaltetes GSM Mobiltelefon im Auto befand, im Vergleich zu einer Fahrt ohne Mobiltelefon. Bei einem eingeschalteten UMTS Mobiltelefon war die Strahlenbelastung nochmals um einen Faktor 10 höher. In städtischen Gebieten zeigte sich ein ähnliches Bild, wobei die Unterschiede aufgrund der stärkeren Hintergrundbelastung geringer waren.

Die maximale Emission von Schnurlostelefonen ist rund einen Faktor zehn tiefer als bei Mobiltelefonen. Jedoch haben die meisten Schnurlostelefone keine Leistungsregelung, so dass die mittlere Strahlenbelastung während eines Telefonats typischerweise höher ist als bei einem UMTS Telefon. Die Strahlenbelastung durch W-LAN ist im Allgemeinen gering, da der Abstand zur Quelle grösser ist als bei körpernah betriebenen Quellen und die elektrische Feldstärke mit der Distanz rasch abnimmt. Eine Verdoppelung der Distanz führt zu einer Halbierung der Feldstärke.

Strahlung von körperfernen Quellen

Im Gegensatz zu körpernah betriebenen Geräten erfolgt die Exposition gegenüber körperfernen Quellen, wie Mobilfunkbasisstationen oder die Mobiltelefone von anderen Personen, unfreiwil-

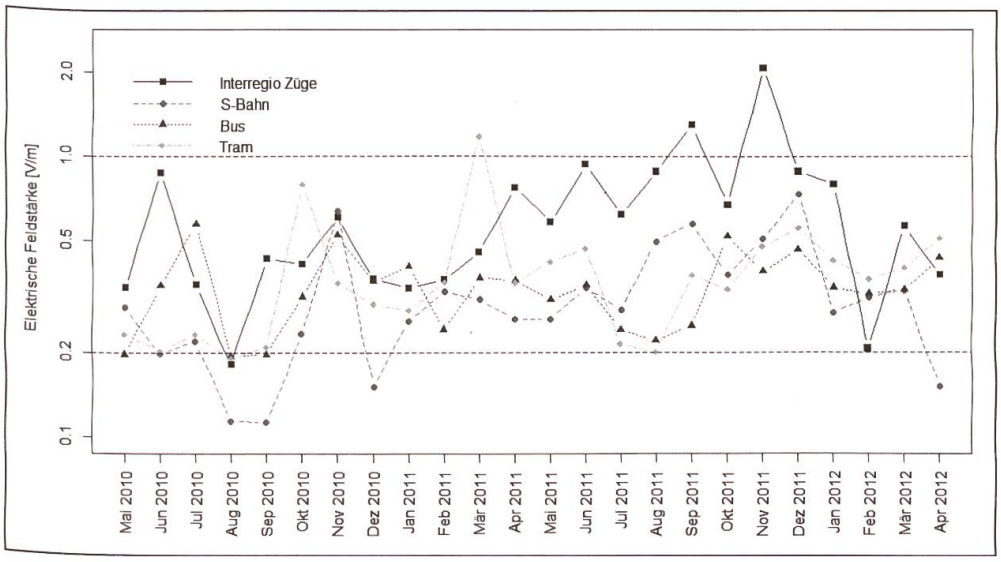

Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der HF-EMF in diversen öffentlichen Verkehrsmitteln.

lig. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die durchschnittliche HF-EMF-Belastungen durch solche körperfernen Quellen in unterschiedlichen Umgebungen. Die Messungen wurden zwischen Mai 2010 und April 2012 an insgesamt 24 Tagen mit einem tragbaren Messgerät durchgeführt [19, 20]. Draussen variiert die HF-EMF-Exposition stark zwischen verschiedenen Quartieren (0.16–0.47 V/m). Der Hauptbeitrag stammt von Mobilfunkbasisstationen (60–86 %). Die höchsten HF-EMF-Belastungen werden im Alltag in den öffentlichen Verkehrsmitteln gemessen (0.36–0.72 V/m). Die Belastung ist dort erhöht wegen der starken Nutzung von Mobiltelefonen durch Reisende, der oben beschriebenen Organisationskommunikation im Ruhemodus und des verstärkenden Effekts durch das Reflektieren der Strahlung an der Fahrzeughülle (Faraday-Effekt). Alle gemessenen Expositionswerte sind jedoch deutlich unter den deutschen und schweizerischen gesetzlich verankerten Immissionsgrenzwerten (NISV, SR 814.710), die je nach Frequenz zwischen 40–61 V/m liegen [21].

In den letzten Jahren ist die drahtlose Kommunikationstechnik zwar erheblich effizienter geworden, so dass mehr Daten mit der gleichen Strahlungsmenge transferiert werden können. Dafür hat jedoch die Nutzung der drahtlosen Kommunikation stark zugenommen, insbesondere die mobile Internetnutzung. Abbildung 3 zeigt, wie sich die gesamte HF-EMF-Belastung im Raum Basel an Aussenplätzen zwischen 2010 und 2012 entwickelt hat. Eine Regressionsanalyse ergab, dass für die gesamten HF-EMF die elektrische Feldstärke jährlich zwischen 14 % (Stadtzentrum) und 32 % (Zentrales Wohngebiet) zugenommen hat (Abbildung 4). Die prozentuale Zunahme ist also besonders hoch in Gebieten, wo die Belastung klein ist. Auch für Strahlung von Mobiltelefonen und Rundfunksendern machen draussen die teilweise hohen prozentualen Zunahmen nur einen geringen absoluten Anstieg in V/m aus, da ihr Beitrag an der Gesamtbelastung klein ist. In Interregio-Zügen nahm die HF-EMF-Belastung durch Mobiltelefone pro Jahr um 34 % zu (Abbildung 5). Dies ist jedoch wegen der grösseren Datenvariabilität statistisch nicht signifikant.

Ob HF-EMF im Alltag in Zukunft weiter so zunehmen wird oder ob die effizientere Kommunikationstechnologie der vierten Mobilfunkgeneration LTE zu einer teilweise oder vollständigen Kompensation der zunehmenden Mobilfunknutzung führt, lässt sich zurzeit nicht abschätzen.

Handy oder Mobilfunkbasisstationen: Was bestrahlt uns stärker?

Wie oben erwähnt, führen körpernah betriebene Geräte wie Handys und Schnurlostelefone unter alltäglichen Bedingungen zu deutlich stärkeren punktuellen Belastungen am Körper als ortsfeste Sendeanlagen. Die Expositionsdauer ist bei körpernah betriebenen Geräten jedoch im Allgemeinen weniger lang, und sie nimmt mit zunehmender Distanz vom Gerät sehr stark ab. Fernfeldquellen exponieren den ganzen Körper gleichmässiger, und die Expositionsdauer kann deutlich länger sein. Was schlussendlich mehr zur individuellen kumulativen Strahlenbelastung beiträgt, wurde bisher nicht systematisch untersucht. Im Rahmen der Schweizer Qualifex-Studie wurde die kumulative Exposition, also die Dosis für körpernah betriebene Geräte, mit Fernfeldexpositionen verglichen [16]. Dabei wurden Daten von 166 Personen aus dem Raum Basel verwendet, die zwischen April 2007 und Februar 2008 eine Woche lang ein HF-EMF-Messgerät bei sich getragen hatten, um die Fernfeldbelastung zu messen. Diese betrug im Durchschnitt 0.21 V/m. Zusätzlich wurden die Daten zur Mobil- und Schnurlostelefonbenutzung von mehr als 1300 Studienteilnehmenden ausgewertet. Gemäss objektiver Daten der Mobilfunkbetreiber betrug die mittlere Gesprächsdauer in diesem Kollektiv 26 Minuten pro Woche. Die Verwendung von Schnurlostelefonen wurde von den Teilnehmenden selbst angegeben, die durchschnittliche Gesprächsdauer lag bei 62 Minuten pro Woche. Anhand dosimetrischer Modelle wurde die kumulative Dosis für eine durchschnittlich exponierte Person bezogen auf spezifische Organe und auf den ganzen Körper berechnet. Aufgrund der grossen Unterschiede zwischen den Emissionen von GSM- und UMTS-Mobiltelefonen wurden für diese

beiden Systeme separate Berechnungen durchgeführt. Dabei wurde angenommen, dass eine Person entweder nur auf dem GSM- oder nur auf dem UMTS-Netz telefoniert hat.

In Tabelle 2 sind solche Expositionsvergleiche für den ganzen Körper und für einige ausgewählte Organe aufgeführt. Es ist erkennbar, dass das GSM-Telefon bei durchschnittlicher Benutzung den Hauptbeitrag zur gesamten Strahlendosis im nicht-ionisierenden Bereich liefert. Besonders gross ist der Beitrag zur Strahlendosis des Kopfes. Für das Gehirn und andere Strukturen im Kopf tragen Fernfeldquellen nur 2 bis 3 % der Dosis bei. Dagegen ist der Beitrag des Mobiltelefons zur Ganzkörperbelastung bei durchschnittlichen Benutzern von UMTS-Telefonen gering, und der Hauptbeitrag kommt zu etwa gleichen Teilen von Schnurlostelefonen und Fernfeldquellen. Aus diesen Abschätzungen lässt sich schliessen, dass die Strahlendosis des Kopfes, sowohl kurzfristig als auch über die Zeit kumuliert, vor allem durch Mobil- und Schnurlostelefone bedingt ist. Für die Langzeitexposition anderer Organe hingegen sind jedoch auch Fernfeldquellen relevant. Es ist zu berücksichtigen, dass diese Berechnung auf einer Reihe von Annahmen basiert und möglicherweise nicht mehr repräsentativ für die heutige Kommunikationsnutzung ist. Beispielsweise dürfte heutzutage die Internetnutzung mit Smartphones auch expositionsrelevant sein, die damals noch kaum eine Rolle spielte. Ausserdem ist unklar, ob die kumulative Dosis das richtige biologische Expositionsmass ist. Möglicherweise sind für biologische oder gesundheitliche Auswirkungen Spitzenbelastungen relevant, die hauptsächlich durch körpernah betriebene Geräte verursacht werden. Auf der anderen Seite wurde auch spekuliert, dass der Körper auf Expositionen während der Nacht, die hauptsächlich von Fernfeldquellen stammen, sensibler reagieren könnte.

Gesundheitliche Auswirkungen durch HF-EMF

Hirntumore durch Handynutzung?

Wie oben erläutert, ist im Alltag kein anderer Körperteil durch HF-EMF annähernd so stark exponiert wie der Kopf bei der Benützung eines Mobiltelefons. Man geht daher davon aus, dass sich eine allfällige Kanzerogenität von HF-EMF am ehesten bei Tumoren im Kopfbereich manifestieren würde und entsprechend hat die Forschung auf diese Fragestellung fokussiert. Die internationale Fall-Kontroll-Studie «INTERPHONE» beinhaltete Daten von 7'658 Kontrollpersonen sowie 2'409 Patienten mit Meningeomen und 2'708 Patienten mit Gliomen, die zwischen 2000 und 2004 erkrankt waren [22]. Die Studie zeigt, dass Personen, die seit weniger als zehn Jahren ein Mobiltelefon benutzten, kein erhöhtes Hirntumorrisiko hatten. Für Personen mit sehr intensiver Handynutzung sind die Ergebnisse nicht eindeutig, teilweise deuten sie aber auf ein erhöhtes Gliomrisiko hin. Methodische Einschränkungen wie Selektionsbias und die retrospektive Expositionserhebung mit Fragebogen erschweren jedoch die Interpretation der Ergebnisse und erklären möglicherweise die gefundenen Risiken. Auch in Bezug auf Akustikusneurinome wurden bei extensiver Handynutzung Hinweise für ein erhöhtes Risiko gefunden [23, 24]. Im Jahr 2011 klassierte die IARC HF-EMF deshalb als *möglicherweise* kanzerogen [25].

Da die Handynutzung in den letzten Jahren sehr stark zugenommen hat, müsste sich ein allfälliges Hirntumorrisiko schlussendlich auch in einer Zunahme der Neuerkrankungen manifestieren. In aktuellen Auswertungen der Krebsregisterdaten aus Skandinavien [26], England [27] oder den USA [28] war dies bisher nicht festzustellen. Damit lässt sich ein stark erhöhtes Risiko durch Handynutzung, 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). Unwahrscheinlich ist, dass keine Inzidenzzunahme beobachtet wurde, weil sich ein Handy-bedingtes Risiko in den letzten 10 Jahren mit einem anderen, protektiven Faktor kompensiert hat.

Gesundheitliche Beschwerden wegen Elektrosmog?

Im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern kommen in der Arztpraxis am häufigsten

Beschwerden wie Kopfschmerzen, Schlaf- oder Konzentrationsstörungen zur Sprache [29]. Die Betroffenen sprechen dann häufig vom möglichen Auslöser «Elektrosmog», was sowohl nieder- als auch hochfrequente Felder umfassen kann. Ein Teil der Betroffenen gibt an, besonders sensibel zu reagieren, was häufig als sogenannte elektromagnetische Hypersensibilität bezeichnet wird.

In einer Vielzahl von experimentellen Studien wurde unter doppelblinden und randomisierten Bedingungen das akute Auftreten von Beschwerden bei Exposition untersucht. Die grosse Mehrheit dieser Studien fand keinen Hinweis für einen Effekt durch EMF [30]. Vereinzelte Assoziationen zeigten kein einheitliches Muster und sind höchstwahrscheinlich zufällig zustande gekommen. Es fanden sich auch keine Hinweise, dass es Personen gibt, die besonders sensibel auf EMF reagieren [30] oder solche Felder wahrnehmen können [31], wie das häufig von den Betroffenen geschildert wird. Diese Provokationsstudien fanden dafür starke Hinweise für Nocebo-Effekte. Wenn die Probanden überzeugt waren oder bei offenen Provokationen wussten, dass sie exponiert sind, traten erheblich mehr und stärkere Symptome auf.

Mit experimentellen Studien werden nur akute Auswirkungen untersucht und langfristige Risiken können nur mit epidemiologischen Studien geklärt werden. Dabei stellt die Expositionsabschätzung eine grosse Herausforderung dar. Erst seit wenigen Jahren stehen geeignete Ausbreitungsmodelle und Messgeräte für die persönliche Expositionserhebung zur Verfügung, was die Durchführung von aussagekräftigeren Studien ermöglicht hat. In den meisten epidemiologischen Studien mit methodisch guter Expositionsabschätzung wird keine Beeinträchtigung des Wohlbefindens durch die Hochfrequenzbelastung beobachtet. Untersuchungen mit einfacher Expositionsabschätzung, wie beispielsweise Distanz zur nächsten Mobilfunkbasisstation, weisen dagegen eher auf Zusammenhänge hin [31]. In ihrer Aussagekraft eingeschränkt sind vor allem Studien in der Umgebung von einzelnen grossen Sendeanlagen, weil die Teilnehmenden ihren Expositionsstatus häufig kennen und Nocebo-Effekte die Resultate verfälschen können.

Eine abschliessende Bewertung der epidemiologischen Studienlage zum Befinden wird allerdings erschwert, da das Expositionsniveau in den bisherigen Studien niedrig war und nur geringe Expositionsunterschiede zwischen den untersuchten Gruppen bestanden. Zudem handelte es sich meistens um Querschnittsstudien und bei den wenigen longitudinalen Studien war der Beobachtungszeitraum auf maximal ein Jahr beschränkt. Für diese niedrigen Belastungen zeichnet sich ab, dass sie das Wohlbefinden von Menschen nicht beeinträchtigen.

EMF aus Public Health Perspektive

Bisher sind keine Gesundheitsauswirkungen von EMF unterhalb der Grenzwerte zweifelsfrei nachgewiesen worden. Am konsistentesten ist die Datenlage für Kinderleukämie und NF-MF von Hochspannungsleitungen. Sollte diese Assoziation tatsächlich kausal sein, wären rund 1 bis 4 Prozent aller Kinderleukämiefälle auf NF-MF zurückzuführen [32], in der Schweiz also jährlich rund ein Fall. Für die Handynutzung hätten selbst individuell kleine Risiken deutlich dramatischere Konsequenzen, da heutzutage die Handynutzung sehr verbreitet ist. Mögliche Langzeitauswirkungen sind inhärent mit Unsicherheiten behaftet. In den meisten Ländern setzte die verbreitete Handynutzung Ende der 90er Jahre ein, so dass zurzeit keine empirischen Daten für eine längere Nutzung als 15 Jahre zur Verfügung stehen. Die rapide Veränderung der Technik und des Nutzungsverhaltens ist eine Herausforderung für die Forschung aber auch für die Nutzer, die vorsorglich ihre EMF-Belastung reduzieren wollen. Empfehlung zur Expositionsreduktion, die heute gültig sind, können bald veraltet sein. Beispielsweise ist bekannt, dass UMTS-Handys bei einem Gespräch im Durchschnitt deutlich weniger strahlen als GSM-Handys (Tabelle 1). Dafür scheint der Expositionsbeitrag im Stand-by-Modus grösser zu sein, und die reduzierte Belastung während den Telefonaten kann mit mobiler Internetnutzung bei modernen Smartphones kompensiert werden. Allgemein gültig bleibt hingegen, Abstand nehmen und ausschalten sind die effizientesten Mittel zur persönlichen Expositionsminimierung.

Referenzen

1. Schreier, N., Huss, A., and Röösli, M., The prevalence of symptoms attributed to electromagnetic field exposure: a cross-sectional representative survey in Switzerland. *Soz Praventivmed,* 2006. **51**(4): p. 202–9.
2. Stratmann, M., Wernli, C., Kreuter, U., and Joss, S., Messung der Belastung der Schweizer Bevölkerung durch 50 Hz Magnetfelder, P.S. Institut, Editor 1995: Villigen.
3. Röösli, M., Jenni, D., Kheifets, L., and Mezei, G., Extremely low frequency magnetic field measurements in buildings with transformer stations in Switzerland. *Sci Total Environ,* 2011. **409**(18): p. 3364–9.
4. Röösli, M., Lörtscher, M., Egger, M., et al., Mortality from neurodegenerative disease and exposure to extremely low-frequency magnetic fields: 31 years of observations on Swiss railway employees. *Neuroepidemiology,* 2007. **28**(4): p. 197–206.
5. Wertheimer, N. and Leeper, E., Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol,* 1979. **109**(3): p. 273–84.
6. Ahlbom, A., Day, N., Feychting, M., et al., A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer,* 2000. **83**(5): p. 692–8.
7. Kheifets, L., Ahlbom, A., Crespi, C.M., et al., Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer,* 2010. **103**(7): p. 1128–35.
8. Greenland, S., Multiple-bias modelling for analysis of observational data. *J. R. Statist. Soc. A,* 2005. **168**(Part 2): p. 267–306.
9. IARC, Non-ionizing radiation, part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields, in *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans,* W.H. Organization, Editor 2002, International Agency for Research on Cancer: Lyon.
10. Zhou, H., Chen, G., Chen, C., Yu, Y., and Xu, Z., Association between extremely low-frequency electromagnetic fields. Osccupations and amyotrophic lateral sclerosis: a meta-analysis. *PLoS One,* 2012. **7**(11): p. e48354.
11. Vergara, X., Kheifets, L., Greenland, S., Oksuzyan, S., Cho, Y.S., and Mezei, G., Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and neurodegenerative disease: a meta-analysis. *J Occup Environ Med,* 2013. **55**(2): p. 135–46.
12. Grell, K., Meersohn, A., Schuz, J., and Johansen, C., Risk of neurological diseases among survivors of electric shocks: a nationwide cohort study, Denmark, 1968–2008. *Bioelectromagnetics,* 2012. **33**(6): p. 459–65.
13. Frei, P., Poulsen, A.H., Mezei, G., et al., Residential Distance to High-voltage Power Lines and Risk of Neurodegenerative Diseases: a Danish Population-based Case-Control Study. *Am J Epidemiol,* 2013.
14. Huss, A., Spoerri, A., Egger, M., Röösli, M., and Swiss National Cohort, S., Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population. *Am J Epidemiol,* 2009. **169**(2): p. 167–75.
15. ITU. Measuring the Information Society. 2013 Abgerufen am: 24.10.2013.; Available from: http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/mis2013.aspx.
16. Lauer, O., Frei, P., Gosselin, M.C., Joseph, W., Röösli, M., and Fröhlich, J., 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**(5): p. 366–74.
17. Persson, T., Tornevik, C., Larsson, L.E., and Loven, J., Output power distributions of terminals in a 3G mobile communication network. *Bioelectromagnetics,* 2011.
18. Urbinello, D. and Röösli, M., Impact of one's own mobile phone in stand-by mode on personal radiofrequency electromagnetic field exposure. *J Expo Sci Environ Epidemiol,* 2013. **23**(5): p. 545–8.
19. Urbinello, D., Huss, A., Beekhuizen, J., Vermeulen, R., and Röösli, M., Use of portable exposure meters for comparing mobile phone base station radiation in different types of areas in the cities of Basel and Amsterdam. *Sci Total Environ,* 2013. **468–469C:** p. 1028–1033.
20. Urbinello, D., Joseph, W., Huss, A., et al., Radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure levels in relation to regulatory limits in different outdoor urban environments across several European cities. *under review,* 2013.
21. Verordnung vom 23. Dezember 1999 über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV), SR 814.710.
22. INTERPHONE, s.g., Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Int J Epidemiol,* 2010. **39**(3): p. 675–94.
23. Benson, V.S., Pirie, K., Schuz, J., et al., Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: prospective study. *Int J Epidemiol,* 2013.
24. Group, I.S., Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Cancer Epidemiol,* 2011. **35**(5): p. 453–64.
25. Baan, R., Grosse, Y., Lauby-Secretan, B., et al., Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *The Lancet Oncology,* 2011.
26. Deltour, I., Auvinen, A., Feychting, M., et al., Mobile phone use and incidence of glioma in the Nordic countries 1979–2008: consistency check. *Epidemiology,* 2012. **23**(2): p. 301–7.
27. de Vocht, F., Burstyn, I., and Cherrie, J.W., Time trends (1998–2007) in brain cancer incidence rates in relation to mobile phone use in England. *Bioelectromagnetics,* 2011. **32**(5): p. 334–9.

28. Inskip, P.D., Hoover, R.N., and Devesa, S.S., Brain cancer incidence trends in relation to cellular telephone use in the United States. *Neuro Oncol,* 2010. **12**(11): p. 1147–1151.
29. Huss, A. and Röösli, M., Consultations in primary care for symptoms attributed to electromagnetic fields – a survey among general practitioners. *BMC Public Health,* 2006. **6:** p. 267.
30. Hug, K. and Röösli, M., Elektromagnetische Hypersensibilität. Bewertung von wissenschaftlichen Studien. Stand Ende 2011, 2012, Bundesamt für Umwelt: Bern, http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01669/.
31. Röösli, M., Frei, P., Mohler, E., and Hug, K., Systematic review on the health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile phone base stations. *Bull World Health Organ,* 2010. **88**(12): p. 887–896F.
32. Kheifets, L., Afifi, A.A., and Shimkhada, R., Public health impact of extremely low-frequency electromagnetic fields. *Environ Health Perspect,* 2006. **114**(10): p. 1532–7.