

Igor Belyaev, Amy Dean, Horst Eger, Gerhard Hubmann, Reinhold Jandrisovits, Markus Kern, Michael Kundi, Hanns Moshhammer, Piero Lercher, Kurt Müller, Gerd Oberfeld\*, Peter Ohnsorge, Peter Pelzmann, Claus Scheingraber und Roby Thill

# EUROPAEM EMF-Leitlinie 2016 zur Prävention, Diagnostik und Therapie EMF-bedingter Beschwerden und Krankheiten

DOI 10.1515/reveh-2016-0011 Eingegangen am 16. März 2016; angenommen am 29. Mai 2016, publiziert online am 25. Juli 2016

**Zusammenfassung:** Chronische Krankheiten mit unspezifischen Symptomen nehmen zu. Neben chronischem Stress im sozialen Umfeld und bei der Arbeit gibt es im häuslichen, beruflichen und freizeitlichen Umfeld physikalische und chemische Umweltfaktoren, die als ursächliche oder verstärkende Stressoren wirken und sowohl von Allgemeinärzten als auch vom gesamten medizinischen Fachpersonal mehr Beachtung verdienen. Es scheint notwendig, jetzt auch solche „neuen Expositionen“ wie EMF zu berücksichtigen. Ärzte werden immer häufiger mit Beschwerden unbekannter Ursache konfrontiert. Studien, empirische Beobachtungen und Berichte von Patienten weisen ganz eindeutig auf Wechselwirkungen zwischen Beschwerden und der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern (EMF) hin. Die individuelle Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen wird jedoch meist außer Acht gelassen. Neue Funktechnologien und Funkanwendungen wurden eingeführt, ohne dass vorher ihre Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit hinreichend geklärt wurden, was die Medizin und Gesellschaft vor neue Herausforderungen stellt. Zum Beispiel ist die Frage nach den so genannten nicht thermischen Effekten und potenziellen Langzeiteffekten im Niedrigdosisbereich vor Einführung dieser Technologien kaum untersucht worden. Häufige Quellen elektromagnetischer Felder (EMF) sind etwa: Hochfrequente elektromagnetische Strahlung oder kurz Hochfrequenz (HF) (3 MHz bis 300 GHz) wird von Radio- und Fernsehsendern, WLAN-Access Points, WLAN-Routern und WLAN-Clients (z.B. Smartphones, Tablets), Schnurlos- und Mobiltelefonen einschließlich ihrer Basisstationen und Bluetooth-Geräten abgestrahlt. Niederfrequente elektrische (ELF EF) und magnetische Felder (ELF MF) im ELF-Bereich (3 Hz bis 3 kHz) gehen von Elektroinstallationen, Beleuchtungsmitteln und elektrischen Geräten aus. Niederfrequente elektrische (VLF EF) und magnetische Felder (VLF MF) im VLF-Bereich (3 kHz bis 3 MHz), die durch Oberschwingungen und Verzerrungen von Spannung und Strom verursacht werden, gehen von Elektroinstallationen, Beleuchtungsmitteln (z.B. Energiesparlampen) und elektronischen Geräten aus.

## Europäische Akademie für Umweltmedizin (EUROPAEM) – Arbeitsgruppe EMF

**\*) Korrespondierender Autor: Gerd Oberfeld**, Landessanitätsdirektion, Land Salzburg, Österreich, E-Mail: gerd.oberfeld@salzburg.gv.at

**Igor Belyaev:** Institut für Krebsforschung BMC, Slowakische Akademie der Wissenschaften, Bratislava, Slowakei, und Prokhorov Institut für Allgemeine Physik, Russische Akademie der Wissenschaften, Moskau, Russland

**Amy Dean:** American Academy of Environmental Medicine, Wichita, KS, USA

**Horst Eger:** Ärztlicher Qualitätszirkel der Bayerischen Landesärztekammer „Elektromagnetische Felder in der Medizin – Diagnostik, Therapie, Umwelt“ Nr. 65143, Naila, Deutschland

**Gerhard Hubmann:** MEDICUS Therapiezentrum für Ganzheitsmedizin, Wien, Österreich, und Wiener Internationale Akademie für Ganzheitsmedizin (GAMED), Wien, Österreich

**Reinhold Jandrisovits:** Referat für Umweltmedizin der Ärztekammer für Burgenland, Eisenstadt, Österreich

**Markus Kern:** Ärztlicher Qualitätszirkel „Elektromagnetische Felder in der Medizin – Diagnostik, Therapie und Umwelt“ Kempten, Deutschland, und Kompetenzinitiative zum Schutz von Mensch, Umwelt und Demokratie e.V., Kempten, Deutschland

**Michael Kundi und Hanns Moshhammer:** Institut für Umweltmedizin, Medizinische Universität Wien, Österreich

**Piero Lercher:** Ärztekammer Wien, Referat für Umweltmedizin, Wien, Österreich

**Kurt Müller:** Europäische Akademie für Umweltmedizin, Kempten, Deutschland

**Peter Ohnsorge:** Europäische Akademie für Umweltmedizin, Würzburg, Deutschland

**Peter Pelzmann:** Abteilung für Elektronik und Technische Informatik, HTL Donaustadt, Wien, Österreich

**Claus Scheingraber:** Arbeitskreis Elektrobiologie (AEB), München, Deutschland, und Deutsche Gesellschaft für Umwelt- und Humantoxikologie (DGUHT), Würzburg, Deutschland

**Roby Thill:** Berufsverband der Umweltmediziner (ALMEN), Beaufort, Luxemburg

Einerseits gibt es starke Hinweise dafür, dass Langzeitexpositionen gegenüber bestimmten elektro-magnetischen Feldern einen Risikofaktor für verschiedene Krankheiten wie z.B. verschiedene Arten von Krebs, Alzheimer-Krankheit und männliche Unfruchtbarkeit darstellen und andererseits wird die neu auftretende elektromagnetische Hypersensitivität (EHS) immer häufiger von Gesundheitsbehörden, Behörden und Sachbearbeitern für die Feststellung von Behinderungen, Politikern sowie Gerichten anerkannt.

Wir empfehlen, elektromagnetische Hyper-sensitivität (EHS) klinisch als einen Teil der chronischen Multisystemerkrankungen (CMI) zu behandeln, aber dabei anzuerkennen, dass die eigentliche Ursache in der Umwelt begründet liegt. Zu Beginn treten EHS-Symptome oft nur gelegentlich auf, aber mit der Zeit nehmen sie an Häufigkeit und Intensität zu. Häufige EHS-Symptome sind zum Beispiel Kopfschmerzen, Konzentrationsschwierigkeiten, Schlafprobleme, Depressionen, Energiemangel, Erschöpfung und grippeähnliche Symptome. Eine ausführliche Anamnese, die sowohl alle Symptome als auch deren Auftreten mit Bezug auf den Zeitpunkt und den Ort und im Kontext von EMF-Expositionen erfasst, ist der Schlüssel zur Diagnose. Die EMF-Exposition wird in der Regel durch EMF-Messungen zu Hause und bei der Arbeit ermittelt. Gewisse EMF-Expositionen können auch durch das Erfragen von häufigen EMF-Quellen im Umfeld des Patienten eingeschätzt werden. Es ist sehr wichtig die individuelle Empfindlichkeit eines Patienten zu berücksichtigen. Die primäre Therapie sollte sich vor allem auf die Vermeidung und Reduktion der EMF-Expositionen konzentrieren. Dabei sollten alle Quellen hoher EMF-Expositionen zu Hause und am Arbeitsplatz reduziert oder entfernt werden. Die Reduzierung der EMF-Expositionen sollte auch auf öffentliche Orte wie z.B. Schulen, Krankenhäuser, öffentliche Verkehrsmittel und Bibliotheken ausgedehnt werden, damit sie von Personen mit EHS ungehindert genutzt werden können (Barrierefreiheit). Wenn eine nachteilige EMF-Exposition ausreichend reduziert wird, hat der Körper die Chance zu genesen und EHS-Symptome werden zurückgehen oder sogar ganz verschwinden. Es gibt viele Beispiele, die zeigten, dass sich solche Maßnahmen bewährten. Um die Wirksamkeit der Behandlung zu erhöhen, sollte die Vielzahl anderer Umwelteinflüsse, die zur Gesamtbelastung des Körpers beitragen, ebenfalls berücksichtigt werden. Alle Maßnahmen, die die Homöostase unterstützen, helfen auch die Widerstandskräfte gegen Krankheiten zu stärken, und damit auch gegen die schädlichen Auswirkungen von EMF-Belastungen. Es gibt immer mehr Belege dafür, dass die Exposition gegenüber elektro-magnetischen Feldern einen starken Einfluss auf die oxidative und nitrosative Regulationsfähigkeit von Betroffenen ausübt. Dieser Ansatz kann auch erklären, warum sich der Grad der Empfindlichkeit gegenüber EMF verändern kann und warum die Liste von Symptomen, die im Zusammenhang mit EMF-Expositionen beschrieben worden ist, so lang ist. Aus gegenwärtiger Sicht erscheint ein Behandlungsansatz besonders empfehlenswert, der bei anderen Multisystemerkrankungen in zunehmendem Maße praktiziert wird und zum Ziel hat, die schädigende Wirkung von Peroxynitrit zu minimieren. Diese EMF-Leitlinie bietet einen Überblick über den derzeitigen Wissensstand zu EMF-bedingten Gesundheitsrisiken und gibt Empfehlungen für die Diagnose, Behandlung und Barrierefreiheit von EHS, um den individuellen Gesundheitszustand Betroffener zu verbessern bzw. wiederherzustellen sowie zur Entwicklung von Präventionsstrategien.

**Schlagwörter:** Alzheimer-Krankheit, Barrierefreiheit, Behandlung, chronische Multisystemerkrankungen (CMI), Diagnose, elektrisch, elektromagnetische Hypersensitivität (EHS), elektromagnetische Felder (EMF), Krebs, Leukämie, magnetisch, medizinische Leitlinie, nicht ionisierend, nitrosativer Stress, oxidativer Stress, Peroxynitrit, Prävention, statisch, Strahlung, Therapie, Unfruchtbarkeit.

## **Gegenwärtiger Stand der wissenschaftlichen und politischen Diskussion über EMF-bedingte Beschwerden aus medizinischer Sicht**

### **Einführung**

Das Projekt der „Umweltbedingten Krankheitslasten“ (engl. Environmental Burden of Disease Project) hat untersucht, wie sich neun verschiedene schädliche Umwelteinflüsse (Benzol, Dioxin einschließlich Furane und Dioxin-ähnliche PCBs, Passivrauchen, Formaldehyd, Blei, Lärm, Ozon, Feinstaub und Radon) auf die öffentliche Gesundheit in sechs Ländern (Belgien, Finnland, Frankreich, Deutschland, Italien und die Niederlande) auswirken. Diese neun schädlichen Umwelteinflüsse waren für 3 % bis 7 % der jährlichen Krankheitslast in den sechs europäischen Ländern verantwortlich (1).

Eine Studie der Bundespsychotherapeutenkammer (BPtK) in Deutschland hat gezeigt, dass die Zahl der psychischen Erkrankungen weiterhin gestiegen ist und dass insbesondere die Zahl der betrieblichen Fehltage zwischen 2004 und 2011 aufgrund von Burnout um das Siebenfache gestiegen ist (2). Im Jahr 2012 waren in Deutschland 42 % der Frührenten durch psychische Erkrankungen bedingt, wobei Depression die häufigste Diagnose war (3). In Deutschland werden von allen verschreibungspflichtigen Medikamenten Psychopharmaka am dritthäufigsten verschrieben (4).

Die Einnahme von Methylphenidat (Ritalin, Medikinet, Concerta) ist seit Beginn der 1990er Jahre drastisch angestiegen. Dieses Psychopharmakon wird insbesondere bei kleinen Kindern und Jugendlichen zur Therapie bei Aufmerksamkeitsdefizit und Hyperaktivitätsstörung (ADHS) eingesetzt. Nach den Angaben des Bundesinstituts für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) ist die Verschreibung dieses Medikaments seit 2000 dramatisch angestiegen und hat 2012 einen Höhepunkt erreicht. Im Jahr 2013 wurde nur ein leichter Rückgang bei den Verschreibungen dieses Medikaments verzeichnet (5). Interessanterweise fällt der rasante Anstieg für die Verschreibung von Methylphenidat in eine Zeit, in der Mobilfunk und andere drahtlose Technologien stark ausgebaut werden und stellt damit eine offene Frage für die Forschung dar.

In Deutschland haben sich in den Jahren von 1994 bis 2011 die Meldungen zur Erwerbsunfähigkeit und die Zahl der betrieblichen Fehltage aufgrund von psychischen Erkrankungen mehr als verdoppelt (6). In den OECD-Ländern bestehen großen Unterschiede bei der Verschreibung von Antidepressiva und generell wird ein steigender Trend beobachtet. Der sozialökonomische Status und die Therapiestandards können diese Beobachtungen nicht vollständig erklären (7). Funktionelle Störungen wie chronische Entzündungen und veränderte Funktionen der Neurotransmitter, die durch Umwelteinflüsse bedingt sind, werden dabei kaum untersucht.

Weltweit hat die Häufigkeit der allergischen bzw. asthmatischen Erkrankungen stetig zugenommen, wobei inzwischen 30 % bis 40 % der Weltbevölkerung von einer oder mehreren allergischen bzw. asthmatischen Erkrankungen betroffen sind (8).

Es besteht der Verdacht, dass elektromagnetische Umwelteinflüsse eine ursächliche Rolle im Hinblick auf EMF-bedingte Beschwerden spielen können (9-12), dazu gehören unter anderem Expositionen der Bevölkerung gegenüber Hochfrequenz von z.B. Schnurlostelefonen (DECT), Mobilfunkbasisstationen und Mobiltelefonen (GSM, GPRS, UMTS, LTE), insbesondere Smartphones, Datenkarten für Laptops und Notebooks, WLAN sowie funkbasierte und PLC-basierte Smart Meter, aber auch gegenüber niederfrequenten (ELF) elektrischen Wechselfeldern (EF) und niederfrequenten (ELF) magnetischen Wechselfeldern (MF) einschließlich „Dirty Electricity“, die von Störungen der Elektroinstallationen, Stromleitungen, elektrischen Geräten und anderen Maschinen ausgehen. Diese Expositionen stellen sowohl die Gesellschaft als auch die Mediziner vor neue Herausforderungen.

Während man die biophysikalischen und biochemischen Wirkmechanismen schwacher elektromagnetischer Felder nicht genau kennt, wurden in den letzten Jahrzehnten jedoch große Fortschritte gemacht und zahlreiche Daten deuten darauf hin, dass sich die Wirkmechanismen niederfrequenter und hochfrequenter Felder überschneiden (13-18). In den folgenden Abschnitten werden Hintergrundinformationen zu wichtigen Aspekten EMF-bedingter biologischer Wirkungen vorgestellt. Diese Ausführungen sollten aber nicht als eine umfassende Literaturübersicht über die gegenwärtig verfügbare Evidenz missverstanden werden. Aufgrund der oben bereits erwähnten Überschneidung biologischer Wirkmechanismen ist die Trennlinie zwischen hochfrequenten (HF) und niederfrequenten (ELF) Feldern nicht immer scharf abgegrenzt. An dieser Stelle soll auch darauf hingewiesen werden, dass ganz spezifische Expositionsbedingungen bei einer Person zu biologischen Reaktionen führen können, aber nicht bei anderen. Einzelberichten zufolge erhöht sich bei der ersteren Personengruppe mit der Zeit die individuelle Reaktionsgeschwindigkeit und Empfindlichkeit und die Unverträglichkeit erstreckt sich dann auf eine immer breitere Palette von Expositionsbedingungen.

Chronische Krankheiten mit unspezifischen Symptomen nehmen zu. Neben chronischem Stress im sozialen Umfeld und auf Arbeit gibt es im häuslichen, beruflichen und freizeitlichen Umfeld physikalische und chemische Umweltfaktoren, die als ursächliche oder verstärkende Stressoren wirken und sowohl von Hausärzten als auch dem gesamten medizinischen Fachpersonal mehr Beachtung verdienen. Es scheint notwendig, jetzt auch solche „neuen Expositionen“ wie EMF zu berücksichtigen oder in den Worten von Hedendahl et al. (19): *"Es ist an der Zeit, dass niederfrequente (ELF) und hochfrequente (HF) elektromagnetische Felder als Umweltbelastungen anerkannt werden, die dementsprechend überwacht werden müssen."*

### **Statements von Organisationen aus aller Welt zum Thema EMF**

Die Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zu niederfrequenten elektrischen und magnetischen Wechselfeldern (ELF) sowie hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung (HF), erstellt von der Internationalen Strahlenschutzkommission für nicht ionisierende Strahlung (ICNIRP) (20, 21), beruhen auf induzierten Körperströmen (ELF) und dem thermischen Wirkmodell (HF).

Thermische Wirkungen werden durch Temperaturerhöhungen infolge der Absorption elektromagnetischer Energie hervorgerufen. Die spezifische Absorptionsrate (SAR) beschreibt die Rate, mit der elektromagnetische Energie je Masseneinheit des Körpergewebes absorbiert wird. Sie ist proportional zum schrittweisen Temperaturanstieg in dem entsprechenden Gewebe. Ein signifikanter Temperaturanstieg muss tatsächlich vermieden werden, da er ganz unmittelbar negative gesundheitliche Folgen (Gewebsnekrose, Herzbelastungen, etc.) nach sich ziehen kann. Es gibt aber auch Expositionen ohne (messbaren) Temperaturanstieg, weil die Wärme entweder abgeführt wird oder die Energiemenge der Exposition so niedrig ist, dass keine nennenswerte Erwärmung erfolgt. Eine Exposition ohne Temperaturanstieg wird als nicht thermisch bezeichnet. Biologische und gesundheitsrelevante Wirkungen nicht thermischer Expositionen wurden von vielen Forschungsgruppen aus aller Welt nachgewiesen und besprochen (9, 10, 22-24).

Die Empfehlungen der ICNIRP wurden von der EU in ihrer Ratsempfehlung von 1999 übernommen, ohne dass Langzeitwirkungen nicht thermischer Effekte berücksichtigt worden wären. In diesem Zusammenhang sollte aber erwähnt werden, dass auf einer internationalen EMF-Konferenz in London (2008) Professor Paolo Vecchia als ICNIRP-Vorsitzender von 2004 bis 2012 zu den Expositionsrichtlinien ausführte, „Was sie nicht sind“: *"Sie sind keine verbindlichen Sicherheitsvorschriften", "Sie sind nicht das 'letzte Wort' zu diesem Thema" und "Sie sind keine Basis für die Verteidigung der Industrie und anderer"* (25).

Für alle HF-bedingten nicht thermischen Wirkungen sind SAR-Abschätzungen keine angemessene Expositionsgröße, stattdessen sollte entweder die Feldstärke oder die Leistungsdichte in Verbindung mit der Expositionsdauer in Richtlinien zur Anwendung kommen (26, 14, 27). Im Gegensatz zu den ICNIRP-Richtlinien, basieren die russischen Sicherheitsstandards auf nicht

thermischen Effekten hochfrequenter Strahlung, da mehrere Forschungseinrichtungen der ehemaligen Sowjetunion, die über Jahrzehnte hinweg Studien zur chronischen Exposition gegenüber hochfrequenter Strahlung durchführten, genau diese nicht thermischen Effekte dokumentierten (28, 29).

Und im Gegensatz zum WHO-Hauptquartier in Genf hat die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC), eine an die WHO angegliederte Agentur mit Sitz in Lyon, niederfrequente magnetische Wechselfelder (ELF MF) 2002 als möglicherweise krebserregend für den Menschen (Gruppe 2B) eingestuft (30) und im Jahr 2011 ebenso hochfrequente elektromagnetische Felder (24).

Es ist außerdem festzuhalten, dass in den letzten 20 Jahren mehr als 20 Positionspapiere und Resolutionen zum Thema EMF und Gesundheit von EMF-Forschern und Ärzten verabschiedet wurden wie z.B.: Wiener EMF-Resolution, Österreich, 1998; Stewart Report, Großbritannien, 2000; Salzburger Resolution, Österreich, 2000; Freiburger Appell, Deutschland, 2002; Catania-Resolution, Italien, 2002; Statement der Irish Doctors' Environmental Association, Irland, 2005; Helsinki Appell, Finnland, 2005; Benevento-Resolution, Italien, 2006; Venedig-Resolution, Italien, 2008; Porto Alegre-Resolution, Brasilien, 2009; Resolution des russischen Nationalkomitees zum Schutz vor nicht ionisierender Strahlung, Russland, 2001; Internationaler Ärzteappell, Europa, 2012, und der Report des Ständigen Gesundheitsausschusses, Kanada, 2015 (31–34). Im August 2007 und im Dezember 2012 hat die BioInitiative Working Group, die sich aus 29 Experten aus verschiedenen Kompetenzbereichen zusammensetzt, zwei bahnbrechende Berichte unter der Herausgeberschaft von Cindy Sage und David O. Carpenter mit dem Titel "BioInitiative 2007 bzw. BioInitiative 2012 – A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF)" veröffentlicht. Die Autoren fordern, aufgrund der verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse Vorsorgemaßnahmen gegen EMF-Belastungen zu ergreifen (9, 10). Die beiden Berichte der BioInitiative sind globale Meilensteine im Hinblick auf die umfassende Bestandsaufnahme der biologischen und gesundheitlichen Wirkungen schwacher elektromagnetischer Felder sowie den Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Öffentlichkeit. Der BioInitiative Report von 2012 enthält Abschnitte über wissenschaftliche Belege für die Auswirkungen auf: Gen- und Proteinexpression, DNA, Immunfunktion, Neurologie und Verhalten, Blut-Hirn-Schranke, Hirntumoren und Akustikusneurinome, Kinderleukämie, Melatonin, Alzheimer-Krankheit, Brustkrebs, Fruchtbarkeit und Reproduktion, Erkrankungen von Föten und Neugeborenen, Autismus, Störungen durch modulierte Signale, medizinische Therapiegeräte sowie Abschnitte über die Problemdarstellung, die gegenwärtigen Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung, den Nachweis über die Unzulänglichkeit dieser Grenzwerte, das Vorsorgeprinzip, Beispiele der globalen öffentlichen Gesundheit, die wichtigsten wissenschaftlichen Erkenntnisse und Empfehlungen für die öffentliche Gesundheit und eine Zusammenfassung für die Öffentlichkeit einschließlich Schlussfolgerungen.

Da EMF als Gesundheitsrisiko meist ignoriert wird, hat die Europäische Umweltagentur das Risiko von nicht ionisierender Strahlung (EMF) mit anderen Umweltrisiken wie Asbest, Benzol und Rauchen verglichen und dringend empfohlen, im Hinblick auf EMF das Vorsorgeprinzip anzuwenden (35). In weiteren Veröffentlichung von 2011 und 2013 wurde dieser Standpunkt bekräftigt und noch detaillierter ausgeführt (36, 37).

Im September 2008 forderte das Europäische Parlament in einem Statement, dass die EMF-Grenzwerte der EU-Ratsempfehlung von 1999, die auf den ICNIRP-Richtlinien beruhen, unter Einbeziehung des BioInitiative Reports überprüft werden sollen (38). Dieses Anliegen wurde in einer Resolution des Europäischen Parlaments im April 2009 noch einmal bekräftigt (39).

Auf einer Tagung im November 2009 in Seletun, Norwegen, haben Wissenschaftler einen Konsens verabschiedet, der Präventions- und Vorsorgemaßnahmen empfiehlt, die aufgrund der verfügbaren Evidenz möglicher globaler Gesundheitsrisiken durch EMF zum jetzigen Zeitpunkt gerechtfertigt sind (40). Neben allgemeinen und konkreten Empfehlungen zum Beispiel für Mobilfunk- und Schnurlostelefone sprachen die Wissenschaftler auch Grenzwertempfehlungen

für niederfrequente magnetische Wechselfelder (ELF) und hochfrequente elektromagnetische Strahlung (HF) aus. Die Wissenschaftler hielten fest: Die hier empfohlenen Richtwerte berücksichtigen noch nicht empfindliche Bevölkerungsgruppen (Personen mit EHS; Personen mit schwachem Immunsystem; Föten; Kinder in den Entwicklungsjahren, ältere Menschen; Menschen, die Medikamente einnehmen; etc.). Daher ist höchst wahrscheinlich ein weiterer Sicherheitszuschlag für die hier empfohlenen EMF-Richtwerte gerechtfertigt.

Seit 2007 empfiehlt der Oberste Sanitätsrat des österreichischen Bundesministeriums für Gesundheit, Vorsorgemaßnahmen zu ergreifen, um die Exposition gegenüber HF-Strahlung bei der Nutzung von drahtlosen Geräten zu reduzieren, und zwar bei Geräten mit lang dauernder Exposition mindestens um den Faktor 100 unter den Referenzwerten der EU-Kommission; es werden auch eine Reihe von konkreten Empfehlungen ausgesprochen, wie man die persönliche Exposition gegenüber Mobiltelefonstrahlung reduzieren kann (41).

Im Mai 2011 verabschiedete die Parlamentarische Versammlung des Europarates den Bericht über „Die möglichen Gefahren elektromagnetischer Felder und ihre Auswirkung auf die Umwelt“ (42). Die Parlamentarische Versammlung unterbreitete den Mitgliedsstaaten des Europarates viele Empfehlungen zur Prävention, mit denen die Bevölkerung und die Umwelt vor allem auch vor Hochfrequenzbelastungen geschützt werden können: *„Es sollen alle zumutbaren Maßnahmen ergriffen werden, um die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern zu reduzieren, insbesondere den Funkfrequenzen von Mobiltelefonen und ganz besonders die Belastung für Kinder und Jugendliche, die das höchste Hirntumorrisiko zu haben scheinen.“* oder *„Elektrosensiblen Personen‘, die an einer Unverträglichkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern leiden, soll besondere Beachtung geschenkt und konkrete Maßnahmen zu ihrem Schutz eingeführt werden, einschließlich der Errichtung strahlungsfreier Gebiete, die nicht von Funkdiensten abgedeckt werden.“*

In ihren Empfehlungen vom Juli 2012 hat die Amerikanische Akademie für Umweltmedizin (AAEM) anerkannt, dass es Patienten gibt, die durch EMF-Belastungen beeinträchtigt werden. Die AAEM forderte die Ärzte auf, die Belastung durch elektromagnetische Felder bei der Diagnose und Therapie zu berücksichtigen und anzuerkennen, dass die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern *„eine zugrunde liegende Ursache für den Krankheitsverlauf des Patienten sein kann“* (43).

Seit 2014 ist in Belgien Mobiltelefonwerbung für Kinder unter sieben Jahren verboten und auf allen Mobiltelefonen muss die spezifische Absorptionsrate (SAR) ausgezeichnet sein. Außerdem müssen beim Verkauf gut sichtbare Warnhinweise angebracht sein, die die Verbraucher darauf hinweisen, ein Headset zu benutzen und wie sie ihre Strahlenbelastung minimieren können (44).

Im Januar 2015 verabschiedete das französische Parlament ein umfangreiches Gesetz zum Schutz der Bevölkerung vor überhöhter Exposition gegenüber elektromagnetischen Wellen. Unter anderem wurde verabschiedet, dass WLAN in Kindergärten für Kinder unter drei Jahren verboten ist und dass WLAN in Grundschulen für Kinder unter elf Jahren nur dann eingeschaltet werden soll, wenn es für bestimmte Teile des Unterrichts genutzt wird. Wenn an Orten, die der Öffentlichkeit zugänglich sind, WLAN angeboten wird, muss dieser Umstand durch ein Schild eindeutig gekennzeichnet sein. Beim Verkauf von Mobiltelefonen muss der SAR-Wert klar erkennbar sein. In Zukunft muss jede Mobiltelefonwerbung auch Empfehlungen enthalten, wie Nutzer die Hochfrequenzbelastung ihres Kopfes zum Beispiel durch den Gebrauch eines Headsets reduzieren können. Angaben über die örtliche HF-Strahlenbelastung soll für die allgemeine Bevölkerung leichter zugänglich gemacht werden, indem unter anderem landesweite Standortkarten der Sendeanlagen zur Verfügung gestellt werden sollen. Des Weiteren muss die französische Regierung dem Parlament innerhalb eines Jahres einen Bericht zum Thema elektromagnetische Hypersensitivität vorlegen (45).

Im Februar 2016 hatten bereits 220 Wissenschaftler aus 42 Ländern den internationalen Appell unterzeichnet, der sich an die Vereinten Nationen (UN) und die Weltgesundheitsorganisation

(WHO) wendet und zum Schutz vor nicht ionisierenden elektromagnetischen Feldern aufruft. Der Appell spricht die wissenschaftlich nachgewiesenen Wirkungen auf die Gesundheit an sowie die derzeit gültigen, aber unzureichenden internationalen Richtlinien (ICNIRP) und deren Anwendung durch die WHO. Außerdem wurden neun Forderungen aufgestellt, einschließlich dass: „*die Öffentlichkeit vollständig über die möglichen Gesundheitsrisiken aufgeklärt und über Strategien zur Schadensminimierung unterrichtet werden soll und dass Mediziner und Ärzte zu den biologischen Wirkungen elektromagnetischer Energie und zur Behandlung von Patienten mit elektromagnetischer Hypersensitivität ausgebildet werden*“ (46).

Im September 2015 wurde eine internationale wissenschaftliche Deklaration zu elektromagnetischer Hypersensitivität und vielfacher Chemikalienunverträglichkeit von dem Ausschuss der Wissenschaftler verabschiedet, der im Anschluss an die Tagung des 5. Pariser Appells vom 18. Mai 2015 an der königlichen Akademie der Medizin in Brüssel, Belgien, tagte. In dieser Deklaration werden nationale und internationale Behörden und Organisationen aufgefordert, Elektromagnetische Hypersensitivität (EHS) und Vielfache Chemikalienunverträglichkeit (MCS) als Krankheiten anzuerkennen und wurde die WHO dringend gebeten, EHS und MCS in die Internationale Klassifikation der Krankheiten aufzunehmen. Außerdem wurden nationale und internationale Behörden und Organisationen dazu aufgerufen, einfache Vorsorgemaßnahmen einzuführen, die Öffentlichkeit aufzuklären und wirklich unabhängige Sachverständigengruppen einzuberufen, um diese Gesundheitsrisiken auf der Grundlage wissenschaftlicher Objektivität zu evaluieren, was gegenwärtig nicht der Fall ist (47).

## **EMF und Krebs**

Abgesehen von einigen Untersuchungen am Arbeitsplatz begann die epidemiologische EMF-Forschung im Jahr 1979, als Wertheimer und Leeper ihre Studie über den Zusammenhang zwischen dem Abstand zu Stromleitungen mit Hausanschluss und dem Auftreten von Krebs bei Kindern (insbesondere Leukämie und Hirntumoren) veröffentlichten (48). Zur gleichen Zeit untersuchten Robinette et al. die Mortalität in einer Kohorte von Veteranen aus dem Koreakrieg, die zu Beginn der 1950er Jahre an militärischen Radaranlagen (HF) ausgebildet wurden. Beide Studien wiesen auf erhöhte Risiken hin und leiteten damit eine neue Ära zur Erforschung der gesundheitsrelevanten Auswirkungen von EMF-Expositionen ein.

## **ELF MF**

In den darauffolgenden Jahren sind zahlreiche Studien über den Zusammenhang zwischen Kinderleukämie und niederfrequente magnetische Wechselfelder (ELF MF) erschienen. Allerdings schienen die Studienergebnisse widersprüchlich, bis im Jahr 2000 zwei Analysen mit gepoolten Daten (50, 51) diese Widersprüchlichkeiten vorwiegend aufhoben und einen Anstieg des Leukämierisikos mit ansteigender durchschnittlicher Feldbelastung belegten, wobei das Risiko oberhalb von 0,3 oder 0,4  $\mu\text{T}$  im Verhältnis zu einer Durchschnittsbelastung unterhalb von 0,1  $\mu\text{T}$  signifikant war, aber ohne dass sich dabei ein Schwellenwert abgezeichnet hätte. Aufgrund dieser Studienergebnisse stuft die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) niederfrequente magnetische Wechselfelder im Jahr 2002 als ein (mögliches) Karzinogen der Gruppe 2B ein (30). In dieser Gruppe befinden sich zum Beispiel auch Blei, DDT, Schweißrauch und Tetrachlorkohlenstoff.

Seither sind weitere epidemiologische Studien durchgeführt worden, die im Wesentlichen zu denselben Ergebnissen gekommen sind (52, 53). Die bisher einzige Studie über die Interaktionen zwischen Genen und Umwelt mit Bezug auf niederfrequente magnetische Wechselfelder der Stromversorgung berichtete von einem signifikanten Verstärkungseffekt bei Kindern mit einem Polymorphismus in einem DNA-Reparaturgen (54). In einer Übersichtsarbeit zu Kinderleukämie und niederfrequenten magnetischen Wechselfeldern (ELF), kam Kundi zu dem Schluss, dass es aus epidemiologischen Studien genügend Belege für ein erhöhtes Risiko durch die Exposition gegenüber magnetischen Wechselfeldern der Stromversorgung gibt, die nicht auf Zufall, Verzerrung oder Störfaktoren zurückgeführt werden können. Daher sollten diese

Magnetfeldbelastungen gemäß den IARC-Regeln als ein (eindeutiges) Karzinogen der Gruppe 1 eingestuft werden (55).

Der Biolinitiative Report von 2012 (56) führte dazu aus: *"Kinder, die an Leukämie erkrankt sind und sich in der Genesungsphase befinden, haben eine niedrigere Überlebensrate, wenn die Magnetfeldbelastung zu Hause (oder wo sie sich zur Genesung aufhalten) in einer Studie zwischen 0,1  $\mu$ T und 0,2  $\mu$ T und in einer anderen Studie über 0,3  $\mu$ T liegt"* (56).

## HF

Es wurden mehrere Wirkmechanismen identifiziert, die für die karzinogenen Wirkungen der Hochfrequenz verantwortlich sein könnten (23). Epidemiologische Studien zur Hochfrequenz waren vor dem allgemeinen Anstieg der Belastung durch Mobilfunkgeräte recht beschränkt und nur wenige Studien wurden in der Nähe von Rundfunksendern und Radarstationen, an Arbeitsplätzen und bei Amateurfunkern durchgeführt. Nach Einführung des digitalen Mobilfunks ist die Anzahl der Mobiltelefonnutzer drastisch gestiegen und in den 1990er Jahren wurde empfohlen, epidemiologische Studien mit Schwerpunkt intrakranielle Tumoren durchzuführen. Seit der ersten Publikation im Jahr 1999 wurden von der schwedischen Forschergruppe um Prof. Lennart Hardell (57) inzwischen über 40 Studien veröffentlicht. Die Mehrheit dieser Studien befasste sich mit Hirntumoren, aber auch mit Speicheldrüsentumoren, Aderhautmelanomen, Melanomen, Nervenscheidentumoren, Hodenkrebs und Lymphomen. Viele dieser Studien sind widersprüchlich, da ihr Untersuchungszeitraum meist zu kurz ist. Jedoch gab es zwei Studienserien — die internationale Interphone-Studie, an der sich 13 Länder beteiligten, und die schwedischen Studien der Hardell-Gruppe — in denen die Langzeit-Mobiltelefonnutzer einen signifikanten Anteil ausmachten und die grundsätzlich zur Risikobewertung geeignet sind. Im Jahr 2011 stufte die IARC hochfrequente elektromagnetische Strahlung (HF) aufgrund der Hinweise aus epidemiologischen Studien und Tierexperimenten ebenfalls als Karzinogen der Gruppe 2B ein (24). Seither haben zusätzliche Studien die Annahme eines kausalen Zusammenhangs zwischen Mobiltelefonnutzung und Krebs erhärtet (58-60). Hardell und Carlberg (61) kamen zu dem Schluss, dass hochfrequente elektromagnetische Strahlung für den Menschen als eindeutig karzinogen (IARC Gruppe 1) einzustufen sei. Die wissenschaftliche Beweislage für einen kausalen Zusammenhang zwischen der lang andauernden Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen und einem Gliomrisiko hat sich weiter erhöht: In einer Studie von Carlberg and Hardell (62) aus dem Jahr 2014 geht hervor, dass sich die Überlebensrate der Patienten mit Glioblastoma multiforme (Astrozytom Grad IV) bei Nutzung von Mobiltelefonen verringert, und 2015 in einer anderen gepoolten Fall-Kontroll-Studie von Hardell und Carlberg (63) wurden Latenzzeiten von > 25 Jahren eingeschlossen.

Dass auch andere Tumoren mit EMF-Expositionen in Zusammenhang stehen könnten, wird durch Fallbeispiele veranschaulicht, in denen Frauen ihr Mobiltelefon für längere Zeit in ihrem BH trugen und sich genau an dieser Stelle später Brustkrebs entwickelte (64).

Das oberste Gericht Italiens bekräftigte das vorherige Urteil des Berufungsgerichts in Brescia (Nr. 614 vom 10. Dezember 2009), wonach die italienische Berufsgenossenschaft (INAIL) einen Angestellten entschädigen muss, der aufgrund jahrelanger intensiver Mobiltelefonnutzung am Arbeitsplatz einen Hirntumor entwickelt hatte. Es handelte sich in diesem Fall um einen einseitigen Nervenscheidentumor des Trigemini bei einer Person, die beruflich für > 10 Jahre exponiert wurde, und zwar mit insgesamt > 15.000 Stunden durch Mobil- und Schnurlostelefone. Das Gericht erkannte an, dass *"es wahrscheinlich sei (berechtigte Wahrscheinlichkeit), dass HF-Strahlung bei der Entwicklung des Tumors, an der die Person leidet, eine Rolle gespielt hat, und zumindest dazu beigetragen hat"* (65).

Viele der heutigen Mobilgeräte senden auf verschiedenen Frequenzen gleichzeitig. Mobiltelefone zum Beispiel geben Strahlung im HF-, VLF- und ELF-Bereich ab sowie statische Magnetfelder, für eine Literaturübersicht siehe (23). Daher ist es wichtig, für die Abschätzung gesundheitlicher Auswirkungen die Kombination der verschiedenen Expositionen zu berücksichtigen.



## **Gentoxische Wirkungen**

Gentoxische Wirkungen von EMF wie zum Beispiel Schädigung der DNA, Mutationen, Chromatinstruktur und DNA-Reparatur wurden kürzlich von Henry Lai im BioInitiative Report (66) und von der IARC-Arbeitsgruppe in ihrer Risikobewertung zur Karzinogenität von HF-Strahlung (24) besprochen. Im Allgemeinen zeigten ungefähr die Hälfte der verfügbaren Studien gentoxische Wirkungen (positive Befunde), wobei andere Studien auch keine derartigen Wirkungen zeigten (negative Befunde) (23). Dabei ist beachtenswert, dass für andere Endpunkte ein ähnliches Verhältnis von positiven und negativen Befunden bei HF-Studien vorliegt (67-69). Der offensichtliche Grund für diesen etwaigen Widerspruch beruht auf der starken Abhängigkeit von EMF-Wirkungen auf einer Reihe von physikalischen und biologischen Parametern, die in den verschiedenen Studien stark schwankten. Diese Abhängigkeiten wurden sowohl für Wirkungen im ELF-Bereich (70-72) als auch im HF-Bereich (24, 27) belegt.

Neben anderen Parametern wurde berichtet, dass menschliche Lymphozyten bei der Befeldung mit niederfrequenten Felder (ELF) eine individuelle Variabilität in ihrer Chromatinreaktion aufweisen, womit sich eine starke Reaktion der Zellen von Personen mit EHS erklären ließe (72). Dieselbe Forschergruppe führte auch vergleichende Studien zur Gentoxizität mit Zellen von Personen mit EHS und sorgfältig ausgewählten Kontrollpersonen durch (73-75). Es wurde die Reaktion von Lymphozyten auf die HF-Exposition von GSM-Mobiltelefonen (915 MHz) und Magnetfeldern des Netzstroms (50 Hz) untersucht (73). Das Protein 53BP1, das bei einem DNA-Doppelstrangbruch (DSB) an der Bildung von DNA-Reparatur-Foci beteiligt ist, wurde mit Hilfe von Immunfärbung in situ analysiert. Expositionen sowohl durch 915-MHz-Felder als auch durch 50-Hz-Felder führten zu einer signifikanten Verdichtung des Chromatins und wirkten sich hemmend auf die Bildung der DNA-Reparatur-Foci aus. Die EMF-bedingten Reaktionen der Lymphozyten von gesunden und hypersensiblen Spendern waren ähnlich aber nicht identisch im Vergleich zu der Stressreaktion, die durch Hitzeschock ausgelöst wird. Die Auswirkungen von GSM-Strahlung auf das Chromatin und die DNA-Reparatur-Foci der Lymphozyten bei Personen mit EHS wurden erneut bestätigt (74, 75). Obgleich eine individuelle Variabilität beobachtet wurde, hingen die Wirkungen der HF-Strahlung von Mobiltelefonen stark von der Trägerfrequenz / Frequenzkanal (74-77) ab. Unabhängig von der Zellart (menschliche Lymphozyten, Fibroblasten oder Stammzellen) waren die Wirkungen auf die DNA-Reparatur-Foci und das Chromatin bei einer Exposition durch GSM-Strahlung von 905 MHz auf Kanal 74 wesentlich geringer als bei einer Exposition durch GSM-Strahlung von 915 MHz auf Kanal 124. Die Daten ließen auch erkennen, dass die Wirkungen bei einer Exposition durch UMTS-Mobiltelefonstrahlung bei einer Frequenz von 1947,4 MHz stärker waren. Mit diesen Ergebnissen wurde der Nachweis erbracht, dass die verschiedenen Frequenzkanäle der unterschiedlichen Mobilfunktechnologien in Provokationsstudien zu EHS für sich separat untersucht werden sollten. Während auch kleinere Unterschiede beobachtet wurden, waren die Wirkungen der ELF-/HF-Felder in den Zellen von Personen mit EHS und den entsprechenden Kontrollpersonen sehr ähnlich. Es ist wahrscheinlich, dass kompensatorische Reaktionen auf einer komplexeren Ebene der biologischen Organisation wie zum Beispiel die Reaktionen der Gewebe, Organe und Organsysteme bei Personen mit EHS weniger effizient arbeiten, so dass die zelluläre Antwort auf EMF-Expositionen mit Symptomen der Hypersensitivität stärker verbunden ist.

## **Neurologische Wirkungen elektromagnetischer Felder**

Neurologische Wirkungen und Wirkungen auf das Verhalten waren Gegenstand der frühen Forschung zu den potenziellen negativen Auswirkungen von niederfrequenten (ELF) sowie hochfrequenten (HF) elektromagnetischen Feldern (78, 79). Was die epidemiologische Beweislage betrifft, berichteten Haynal und Regli (80) bereits im Jahr 1965, mehr als ein Jahrzehnt vor der bahnbrechenden Veröffentlichung von Wertheimer und Leeper (48), von einem ungefähr vierfachen Anstieg der Prävalenz bei Patienten mit amyotropher Lateralsklerose (ALS), wenn sie in einem Elektroberuf tätig waren, im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Funktionelle, morphologische und biochemische Veränderungen auf Zell-, Gewebs- und Organismusebene sowie Änderungen der Verhaltensweisen wurden unter experimentellen Bedingungen untersucht. Und epidemiologische Studien haben den Zusammenhang zwischen der EMF-Exposition im beruflichen und alltäglichen Umfeld und neurodegenerativen Krankheiten sowie neurologischen Symptomen untersucht.

Studien haben gezeigt, dass elektromagnetische Felder (HF und ELF) schädliche Wirkungen auf die Neuronen und die Funktionsweise des Gehirns ausüben (81). Die epidemiologische Forschung hat außerdem gezeigt, dass die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern im ELF-Bereich am Arbeitsplatz und zu Hause das Risiko für die Alzheimer-Krankheit und Demenz erhöht.

### **Neurologische Wirkungen hochfrequenter Strahlung (HF)**

Frühe Studien zur HF-Strahlung sind schwierig einzuschätzen, da die Expositionsbedingungen oft nicht ausreichend beschrieben wurden, um die relevanten dosimetrischen Größen ableiten zu können. Bereits 1932 berichtete Schliephake (82) von Wirkungen, die er als nicht thermisch einstufte: *„Es treten Erscheinungen auf, wie wir sie bei Neurasthenikern zu sehen gewohnt sind: starke Mattigkeit am Tag, dafür in der Nacht unruhiger Schlaf, zunächst ein eigenartig ziehendes Gefühl in der Stirn und Kopfhaut, dann Kopfschmerzen, die sich immer mehr steigern, bis zur Unerträglichkeit. Dazu Neigung zu depressiver Stimmung und Aufgeregtheit.“* Diese Symptome, die denen ähneln, die später unter der Bezeichnung Mikrowellen- oder Radiowellensyndrom zusammengefasst wurden, wurden in einem beachtlichen Teil beruflich Exponierter in der ehemaligen Sowjetunion festgestellt (83) und auch in Personen, die elektromagnetische Hypersensitivität aufwiesen (siehe unten).

Experimentelle Forschung am Menschen war vor der Einführung der digitalen Mobilfunktechnologie recht selten. Seit den ersten Studien (84, 85) zur elektrischen Aktivität des Gehirns ist die wissenschaftliche Beweislage stark angestiegen. Sie deutet darauf hin, dass nach und während kurzzeitiger Expositionen gegenüber verschiedenen Arten von Hochfrequenz geringe Veränderungen in der Funktion des ZNS auftreten. Die experimentellen Untersuchungen beschäftigten sich vorwiegend mit den Wirkungen auf das EEG (z.B. 86-96), ereigniskorrelierte Potenziale (z.B. 97-104), den Schlaf (z.B. 105-119) und kognitive Funktionen (z.B. 120-131). Einige wenige Untersuchungen benutzten PET-Scans, um die Wirkungen auf den Glukosestoffwechsel (132, 133) und den regionalen zerebralen Blutfluss (134, 135) zu beobachten. Tierstudien untersuchten eine breite Palette von Verhaltensaspekten, die von Lernverhalten und Gedächtnisleistungen (z.B. 136-141) bis hin zu angstbedingtem Verhalten (142) reichten.

Die Reaktion des ZNS auf die HF-Strahlung ist nicht auf die Zeit der tatsächlichen Exposition beschränkt, sondern hält noch einige Zeit danach an, womit Kurzzeitstudien mit einem Cross-over Design kaum aussagekräftig sind. Unter bestimmten Umständen könnte der Ort der Exposition relevant sein, aber oft sind die Wirkungen nach einer einseitigen Exposition beidseitig, was die Beteiligung von subkortikalen Strukturen vermuten lässt. Da Wirkungen auf den Schlaf von individuellen Eigenschaften abhängen können, ist man zu dem Schluss gekommen, dass widersprüchliche Ergebnisse kein starker Beweis gegen eine Wirkung sind (113). Gepulste HF-Strahlung ist effektiver als kontinuierliche Wellen, aber es gibt auch Hinweise darauf, dass die Expositionseigenschaften, einschließlich Ort der Strahlungskopplung und Modulation des HF-Feldes, wichtig sind.

Im Update des BioInitiative Reports von 2012 fasste Henry Lai die Evidenz der experimentellen Studien wie folgt zusammen (143): *„In fast allen Tierstudien wurden Effekte beobachtet, wohingegen in den Studien am Menschen eher keine Effekte als Effekte beobachtet wurden. Die Ursache dafür könnte in mehreren Faktoren begründet liegen: (a) Menschen sind gegenüber Hochfrequenz weniger anfällig als Nagetiere und andere Tierarten. (b) Es ist durchaus schwieriger Studien am Menschen als an Tieren durchzuführen, da es bei Tierexperimenten generell einfacher ist, die Variablen und Störfaktoren zu kontrollieren. (c) In den Tierstudien war die gesamte Expositionsdauer generell länger und Untersuchungen wurden nach der Befeldung ausgeführt,*

*wohingegen bei den Studien am Menschen die Befeldung generell zu einem bestimmten Zeitpunkt stattfand und die Untersuchungen auch während dieser Zeit der Exposition durchgeführt wurden. Das wirft die Frage auf, ob die Wirkungen von hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung kumulativ sind.“*

### **Neurologische Wirkungen niederfrequenter elektromagnetischer Felder (ELF EMF)**

Neurophysiologische Untersuchungen zu niederfrequenten elektromagnetischen Feldern wurden bereits in den 1970er Jahren durchgeführt. Studien an Hirngewebe von Hühnern und Katzen (z.B. 144-146) zeigten Wirkungen von schwachen niederfrequenten elektromagnetischen Feldern (ELF) und ELF-modulierten HF-Felder, die sowohl feldstärke- als auch frequenzabhängig waren (sogenannte Fenstereffekte). Adey schlug 1981 vor (147), dass die beobachteten Wirkungen auf einer primären Interaktion der elektromagnetischen Felder an der Oberfläche der Zellmembran beruhen, wodurch eine Kaskade von intrazellulären Prozessen ausgelöst wird. Diese frühe Einsicht wurde inzwischen durch neuere Studien über verschiedene Transmitterrezeptoren im Gehirn wie zum Beispiel N-Methyl-D-Aspartat-Rezeptoren, Dopamin- und Serotoninrezeptoren bestätigt (z.B. 148-151). Einige der neueren Studien über die Gehirnentwicklung bei Ratten berichteten auch von frequenz- sowie feldstärkeabhängigen Fenstereffekten (152).

Studien zu den Wirkungen auf das Verhalten durch niederfrequente elektromagnetische Felder (ELF) wurden in den 1970er und 1980er Jahren bei relativ hohen Feldstärken durchgeführt (z.B. 153, 154), während jüngere Studien auch niedrige Feldstärken verwenden und Wirkungen auf das Verhalten auf unterschiedlichen Ebenen der Komplexität stützen. Dazu zählen: Veränderungen in der Bewegungsaktivität (z.B. 148, 149, 155, 156), Angst (z.B. 157-159) und depressionsartiges Verhalten (160, 161). *„Da unterschiedliche Wirkungen auf das Verhalten bei unterschiedlichen Expositionsbedingungen, Tierarten und Untersuchungsmethoden beobachtet wurden, sind das die stärksten Hinweise dafür, dass niederfrequente magnetische Wechselfelder das Nervensystem beeinflussen können“* (Lai, 2012, BioInitiative Report, Abschnitt 9 "Evidence for Effects on Neurology and Behavior Effects", 143). Auch in Studien am Menschen wurden Wirkungen bei niedrigen Feldstärken beobachtet (z.B. 162-164).

### **Neurodegenerative Erkrankungen**

Die am weitesten verbreitete neurodegenerative Erkrankung ist die Alzheimer-Krankheit. Im Jahr 2015 gab es weltweit 45 Millionen Patienten, gefolgt von Parkinson-Krankheit, Huntington-Krankheit, amyotropher Lateralsklerose (ALS) und anderen Motoneuronenerkrankungen (MND). Bis heute wird die Pathophysiologie dieser Krankheiten nur unvollständig verstanden. Bei vielen dieser Krankheiten spielen atypische Eiweißverbindungen, mitochondriale Dysfunktion und programmierter Zelltod eine Rolle und es wurden einige genetische Veränderungen entdeckt. Da einige dieser Veränderungen eine Folge von oxidativem Stress (siehe unten), dem Zusammenbruch der Kalziumhomöostase und Störungen auf intrazellulären Signalwegen sein könnten, besteht theoretisch die Möglichkeit, dass elektromagnetische Felder zum Risiko dieser Krankheiten beitragen können. Seit den 1980er Jahren wurden mehr als 30 epidemiologische Studien durchgeführt, die das mögliche Verhältnis zwischen der Exposition gegenüber niederfrequenten elektromagnetischen Feldern (ELF) und neurodegenerativen Erkrankungen beurteilen. In den letzten Jahren wurden mehrere Metaanalysen zu diesem Thema veröffentlicht. Mit Bezug auf die Parkinson-Krankheit gibt es kaum Hinweise auf einen Zusammenhang (165). Für ALS fassen Zhou et al. (166) ihre Forschungsergebnisse wie folgt zusammen: *"Obgleich es potenzielle Einschränkungen im Hinblick auf die Verzerrung bei der Auswahl der Studien, die falsche Klassifikation der Expositionen und den verzerrenden Einfluss der einzelnen Studien in dieser Metaanalyse gibt, legen unsere Daten nahe, dass ein geringes aber doch signifikant erhöhtes ALS-Risiko bei Berufsbezeichnungen besteht, die mit einer relativ hohen Exposition gegenüber niederfrequenten elektromagnetischen Feldern (ELF) verbunden sind."* Eine Übersichtsarbeit von Vergara et al. kam zu einem anderen Schluss (167): *„Unsere Ergebnisse unterstützen nicht die Annahme, dass MF [Magnetfelder] eine Erklärung für den beobachteten Zusammenhang zwischen Berufsbezeichnung und MND [Motoneuronenerkrankungen] liefern.“*

Diese Diskrepanz lässt sich aufklären, wenn man zwischen den verschiedenen Methoden der Beurteilung der Endpunkte (Inzidenz, Prävalenz oder Mortalitätsdaten) und der möglicherweise falschen Klassifizierung der Expositionsdaten aufgrund der verschiedenen Quellen unterscheidet. Wenn man diese Faktoren berücksichtigt, dann ergibt sich ein einheitliches Bild einer Beziehung zwischen der beruflichen Exposition gegenüber niederfrequenten elektromagnetischen Feldern (ELF) und ALS/MND, und auch die wenigen Studien zu Expositionen im Wohnumfeld ergaben ein erhöhtes Risiko bei Magnetfeldexpositionen (168).

### **Blut-Hirn-Schranke**

Jeglicher Austausch zwischen Blut und Gehirn wird durch die Blut-Hirn-Schranke (BHS) streng geregelt. Die BHS verhindert den Übertritt verschiedener Moleküle vom Blut ins Gehirn und umgekehrt. Eine Erhöhung der normalerweise sehr niedrigen Durchlässigkeit der BHS für hydrophile und geladene Moleküle könnte möglicherweise schädliche Auswirkungen haben. Während die Datenlage für Auswirkungen durch niederfrequente elektromagnetische Felder (ELF) sehr dürftig ist, haben mehrere Forschergruppen untersucht, ob hochfrequente elektromagnetische Strahlung die BHS beeinflusst. Diese Forschungsergebnisse wurden kürzlich in Übersichtsarbeiten besprochen (161-171). Obgleich einige Studien über die BHS von negativen Ergebnissen berichteten, deuteten andere Studien, einschließlich die Replikationsstudie mit Ratten von der schwedischen Gruppe um Leif Salford und Bertil Persson, darauf hin, dass die HF-Strahlung von Mobiltelefonen unter spezifischen Expositionsbedingungen die BHS beeinflussen kann (171). Neuere Studien, die EMF-Wirkungen unter spezifischen Expositionsbedingungen (150, 172, 173) zeigen und solche, die unter anderen Bedingungen keine Wirkungen auf die BHS zeigen (174), stehen mit dieser Feststellung in Übereinstimmung.

### **EMF und Unfruchtbarkeit und Reproduktion**

Unfruchtbarkeit und Erkrankungen der Fortpflanzungsorgane nehmen immer mehr zu. Aufgrund der Literaturübersicht des BioInitiative Reports (175) sollte davon ausgegangen werden, dass bei Männern, die ein Mobiltelefon benutzen, insbesondere wenn das Mobiltelefon, das Handheld (PDA) oder der Pager am Gürtel oder in der Hosentasche getragen wird, die Qualität, Beweglichkeit und Pathologie der Spermien beeinträchtigt werden. Die Nutzung von Mobiltelefonen, die Exposition gegenüber Mobiltelefonstrahlung oder das Tragen eines Mobiltelefons in der Nähe der männlichen Hoden beeinträchtigt die Anzahl, Beweglichkeit, Lebensfähigkeit und Struktur der Spermien (176-184). In Tierstudien wurden folgende Effekte belegt: oxidative und DNA-Schäden, pathologische Veränderungen in den Hoden der Tiere, verminderte Beweglichkeit und Lebensfähigkeit der Spermien und andere schädliche Wirkungen auf die männlichen Keimzellen (182, 185-188).

Es gibt auch einige Studien über nachteilige Geburtsausgänge bei EMF-exponierten Frauen. Eine Fall-Kontroll-Studie (189) und eine prospektive Kohortenstudie (190) aus Kalifornien zeigten einen Zusammenhang zwischen Fehlgeburt und dem Maximalwert des Magnetfeldes, das über 24 Stunden mit einem am Körper getragenen Dosimeter gemessen wurde.

### **Elektromagnetische Hypersensitivität (EHS)**

Eine zunehmende Anzahl von Menschen ist in ihrem Alltag ständig und in zunehmendem Maße einer Kombination von elektromagnetischen Feldern ausgesetzt: statische, niederfrequente elektrische und magnetische Felder, einschließlich ELF und VLF (very low frequencies: im Allgemeinen von 3 kHz bis 3 MHz, in anderen Fällen von 3 kHz bis 30 kHz), sowie hochfrequente elektromagnetische Felder (HF). Diese Expositionen zeichnen sich durch unterschiedliche Signalmuster, Feldstärken und technische Anwendungen zu unterschiedlichen Zeiten aus. Diese verschiedenen elektromagnetischen Felder werden in ihrer Gesamtheit kurz als EMF und umgangssprachlich als "Elektrosmog" bezeichnet.

Einige historische Fallbeispiele für EHS aus der Zeit von 1932 (82, 83) sind im Kapitel "Neurologische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung" aufgeführt.

Im Rahmen einer Fragebogenerhebung wurden 2001 in der Schweiz 394 Personen befragt, die ihre spezifischen Beschwerden auf EMF-Expositionen zurückführten, wobei 58 % der Umfrageteilnehmer an Schlafproblemen oder Schlafstörungen litten, 41 % an Kopfschmerzen, 19 % an Nervosität, 18 % an Müdigkeit und 16 % an Konzentrationsstörungen. Die Umfrageteilnehmer brachten ihre Symptome zum Beispiel mit Mobilfunkbasisstationen (74 %), Mobiltelefonen (36 %), Schnurlostelefonen (29 %) und Hochspannungsleitungen (27 %) in Verbindung. Zwei Drittel der Umfrageteilnehmer hatten Maßnahmen ergriffen, um ihre Symptome zu lindern, wobei Expositionsvermeidung die häufigste Maßnahme war (191).

Im Jahr 2001 unterzogen sich im Rahmen eines interdisziplinären Pilotprojekts der Umweltmedizin in Basel 63 Personen, die ihre Beschwerden auf Umweltexpositionen zurückführten, einer Beratung. Ein interdisziplinäres Expertenteam beurteilte die Symptome der einzelnen Patienten durch medizinische, psychologisch-psychiatrische und umweltmedizinische Untersuchungen, einschließlich Hausbesuchen und umwelttechnischen Messungen zu Hause. Im Hinblick auf die 25 Patienten mit EHS bestätigte das Expertenteam, dass bei einem Drittel der Patienten mindestens ein Symptom plausibel mit Elektrosmog im Zusammenhang stand, obgleich die EMF-Exposition innerhalb der Schweizer Grenzwerte lag. Sie kamen zu dem Schluss, dass Patienten mit EHS medizinisch, psychologisch und im Hinblick auf ihre Umwelt beraten werden sollten (192, 193).

Eine Fragebogenerhebung unter Finnen (n=206), die sich selbst als an elektromagnetischer Hypersensitivität (EHS) leidend beschrieben, zeigte, dass die häufigsten Symptome mit dem Nervensystem im Zusammenhang standen: Stress (60 %), Schlafstörungen (59 %) und Erschöpfung (57 %). Die EMF-Quellen, die am häufigsten als Auslöser von EHS angegeben wurden, waren Computer (51 %) und Mobiltelefone (47 %). Nach Aussagen von 76 % der Umfrageteilnehmer war die Reduktion oder das Vermeiden elektromagnetischer Felder (EMF) mit dafür verantwortlich, dass sie ihre Gesundheit vollständig oder teilweise wiederherstellen konnten (194).

Eine im Jahr 2004 in der Schweiz durchgeführte repräsentative Telefonumfrage (n=2048; Alter > 14 Jahre) ergab eine Häufigkeit von 5 % (95 %-CI 4 % bis 6 %) für Personen, die ihre Symptome auf Elektrosmog zurückführten, also an sogenannter elektromagnetischer Hypersensitivität litten. Bei n=107 Personen mit EHS waren die häufigsten Symptome Schlafprobleme (43 %), Kopfschmerzen (34 %) und Konzentrationsschwierigkeiten (10 %). Erstaunlicherweise konsultierten nur 13 % der Betroffenen ihren Hausarzt. Betroffene, die in der Vergangenheit ihre Beschwerden mit EMF in Verbindung gebracht hatten, antworteten drei Mal häufiger, dass sie die „Quelle abgeschaltet“ haben im Vergleich zu denjenigen, die immer noch Beschwerden hatten (195).

In einer Schweizer Fragebogenerhebung von 2005 gaben zwei Drittel der Hausärzte an, dass sie im letzten Jahr mindestens einmal aufgrund von EMF zugeschriebenen Beschwerden aufgesucht wurden. Vierundfünfzig Prozent der Ärzte hielten einen Zusammenhang für möglich. In diesem Fragebogen baten die Ärzte um zusätzliche Informationen zum Thema EMF und Gesundheit und um Richtlinien, wie mit EHS-Patienten umzugehen sei (196).

In einer anderen Fragebogenerhebung von 2004, die ebenfalls von der Schweizer Regierung in Auftrag gegeben und von der Universität Bern durchgeführt wurde, gaben die befragten Schweizer Ärzte mit komplementärmedizinischem Diagnostik- und Therapieangebot an, dass sich 71 % ihrer Beratungen auf EMF beziehen würden. Bemerkenswerterweise vermuteten nicht nur die Patienten einen möglichen Zusammenhang zwischen ihrer Erkrankung und EMF, sondern in noch weit größerem Maße die Ärzte selbst. Die Reduzierung oder Eliminierung der Strahlungsquellen im Umfeld der Patienten war die wichtigste therapeutische Maßnahme zur Behandlung der Beschwerden, die mit EMF-Expositionen im Zusammenhang standen.

Eine Fragebogenerhebung unter Ärzten aus Österreich kam zu ähnlichen Ergebnissen. In dieser Studie bestand eine erstaunliche Diskrepanz zwischen der Ansicht der Hausärzte und den etablierten nationalen und internationalen Risikobewertungen, da 96 % der Hausärzte es bis zu

einem gewissen Grad für möglich hielten oder ganz und gar davon überzeugt waren, dass die in der Lebensumwelt vorkommenden elektromagnetischen Felder eine gesundheitsrelevante Rolle spielen würden (198).

Bei einer Umfrage von 2009, die in einer japanischen Selbsthilfegruppe für EHS und MCS durchgeführt wurde (n=75), hatten 45 % der Umfrageteilnehmer EHS als eine medizinische Diagnose erhalten und 49 % hielten sich für elektrosensibel. Jeder zweite Umfrageteilnehmer hatte eine medizinische Diagnose für MCS (49 %) erhalten und 27 % hatten ihre eigene Diagnose gestellt. Die häufigsten Symptome im Zusammenhang mit EHS waren Erschöpfung, Kopfschmerzen, Konzentrationsprobleme, Schlafstörungen und Schwindel. Die häufigsten Ursachen waren Mobilfunkbasisstationen, Mobiltelefone von anderen, Computer, Stromleitungen, Fernseher, das eigene Mobiltelefon, öffentliche Verkehrsmittel, Schnurlostelefone, Klimaanlage und Autos. Zu den EMF-Quellen, die unter Verdacht standen Auslöser von EHS zu sein, gehörten: Mobilfunkbasisstationen, Computer, elektrische Haushaltsgeräte, medizinische Geräte, Mobiltelefone, Stromleitungen und Induktionsherde (199).

Im Jahr 2010 stellten Khurana et al. fest, dass von zehn epidemiologischen Studien, die gesundheitliche Auswirkungen auf Mobilfunkbasisstationen untersuchten, acht Studien eine erhöhte Prävalenz von neurologischen Verhaltensstörungen oder Krebs in den Populationen aufwiesen, die im Umkreis von 500 Metern einer Basisstation lebten. Da in keiner der Studien die Strahlenpegel oberhalb der international anerkannten Richtlinien lagen, liegt nahe, dass die gegenwärtigen Richtlinien nicht ausreichen, um die Gesundheit der Bevölkerung zu schützen (200).

Carpenter berichtete im Jahr 2015 (201) von einer Reihe von gesunden Personen, die EHS entwickelten, nachdem sie kurzzeitig einer hohen Mikrowellenstrahlung ausgesetzt waren. Zu den typischen Symptomen gehörten zum Beispiel chronische Kopfschmerzen, Reizbarkeit und emotionale Labilität, geringere Libido und Gedächtnisprobleme, die bei einigen der Patienten über Jahre hinweg andauerten.

Hedendahl et al. (19) berichteten von zwei 15-jährigen Schülern und einer 47-jährigen Lehrerin, die bei WLAN-Exposition in der Schule gesundheitliche Beschwerden wie zum Beispiel Kopfschmerzen, Konzentrationsschwierigkeiten, Herzrasen, oder Schwindel entwickelten. Diese Fallbeispiele werden hier erwähnt, um ganz gezielt auf die möglichen gesundheitlichen Folgen durch die zunehmende HF-Belastung von Schülern und Lehrern aufmerksam zu machen. Die Frage, ob elektromagnetische Hypersensitivität (EHS) ursächlich mit EMF-Expositionen im Zusammenhang steht, ist umstritten. Einerseits gehen Ärzte aufgrund von Fallbeispielen davon aus, dass ein ursächlicher Zusammenhang mit EMF plausibel ist, andererseits behaupten nationale und internationale Risikobewertungen in den meisten Fällen, dass es keinen derartigen ursächlichen Zusammenhang gäbe, da Provokationsstudien unter kontrollierten Bedingungen in den meisten Fällen keinen Zusammenhang feststellen konnten. Diese Studien weisen jedoch ernsthafte Mängel auf, auf die eingegangen werden muss: die Probanden wurden den Expositionsbedingungen oft hintereinander ausgesetzt, womit die Nachwirkungen nicht beachtet wurden; die Expositionszeit und die untersuchten Wirkungen waren nur kurz; die Scheinexposition wurde häufig unter Bedingungen durchgeführt, die bei sensible Personen bereits Effekte auslösten; der Zeitrahmen der Experimente berücksichtigte nicht die zeitliche Abfolge vom Auftreten der Symptome bis zu ihrem Verschwinden und/oder die Rekrutierung der Probanden mit EHS wurde nicht medizinisch evaluiert.

Die WHO zieht zum Beispiel EHS nicht als eine Diagnose in Betracht und empfiehlt den Ärzten, sich bei der Behandlung der Betroffenen auf deren Beschwerden und das klinische Bild zu konzentrieren und nicht auf das vermeintliche Bedürfnis der Betroffenen, EMF am Arbeitsplatz oder zu Hause reduzieren oder eliminieren zu wollen (202). Anhand der verfügbaren Evidenz und dem praktischen Wissen ignoriert dieser Ansatz einen kausalen Zusammenhang, siehe auch (203).

Die Arbeit "Electromagnetic Hypersensitivity: Fact or Fiction" von Genius und Lipp (204) bietet einen aufschlussreichen Überblick über die EHS-Studien der letzten Jahrzehnte, einschließlich historischer Meilensteine, Übersichtsarbeiten, Pathogenese, biochemischer Marker, therapeutischer Vorgehensweisen sowie der Diskussion über die Legitimität von EHS.

In den Gesichtshautproben elektrosensibler Personen wurde ein deutlicher Anstieg der Mastzellen beobachtet (205). Aus dieser und anderen früheren Studien, in denen sich EHS-Symptome oft während der Exposition mit elektromagnetischen Feldern einer Kathodenstrahlröhre (CRT) manifestierten, wurde deutlich, dass die Anzahl der Mastzellen in der oberen Lederhaut in der EHS-Gruppe erhöht war. Das Verteilungsmuster der Mastzellen war in der EHS-Gruppe auch anders. Schließlich waren in der EHS-Gruppe die zytoplasmatischen Granula dichter verteilt und stärker gefärbt als in der Kontrollgruppe und grundsätzlich waren die infiltrierenden Mastzellen in der EHS-Gruppe ebenfalls größer. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass später eine ähnliche Mastzellenzunahme bei gesunden Probanden beobachtet wurde, die in einem Experiment vor einen Kathodenstrahlbildschirm (CRT) und auch vor gewöhnliche Fernsehbildschirme gesetzt wurden (206).

Eine französische Forschergruppe unter der Leitung von Belpomme (207) untersuchte seit 2009 klinische und biologische Parameter prospektiv in einer Gruppe von Personen, die nach eigenen Angaben an EHS und/oder MCS leiden, und zwar mit dem Ziel, objektive diagnostische Kriterien zu bestimmen und die pathophysiologischen Aspekte der beiden Erkrankungen aufzuklären. Auf der Grundlage der 727 auswertbaren Fälle deckte die Untersuchung eine Reihe von neuen und wichtigen Erkenntnissen auf, wie zum Beispiel:

- (a) Keiner der Biomarker, die bisher in der Studie bestimmt wurden, sind spezifisch für EHS und/oder MCS.
- (b) Mehrere Biomarker wie Histamin, Nitrotyrosin und Antikörper gegen O-Myelin waren erhöht. Der Melatonin/Kreatinin-Quotient war im 24-Stunden-Sammelurin erniedrigt.
- (c) EHS und MCS sind echte somatisch-pathologische Größen.
- (d) Unter dem Einfluss von elektromagnetischen Feldern und/oder Chemikalien kann es durch zerebrale Durchblutungsstörungen/Sauerstoffmangel zu einer Entzündung des Nervensystems kommen.
- (e) Patienten mit EHS und/oder MCS könnten möglicherweise gefährdet sein, chronische neurodegenerative Erkrankungen und Krebs zu entwickeln.

Auch wenn eine Studie von Regel et al. aus dem Jahr 2006 (208) in ihrer Studie nach der Exposition keine Wirkungen verzeichneten, fanden zwei Provokationsstudien über die Exposition von „elektrosensiblen“ Probanden und Kontrollprobanden gegenüber Signalen von Mobilfunkbasisstationen (GSM, UMTS oder beide) eine signifikante Verminderung des Wohlbefindens in der Gruppe, die sich als elektrosensibel bezeichnete, nach der Exposition durch UMTS (209, 210). Die meisten sogenannten Provokationsstudien mit Elektrosensiblen zeigten keine Effekte. Alle diese Studien benutzten jedoch eine sehr begrenzte Anzahl von Expositionsbedingungen und die meisten dieser Studien weisen methodische Mängel auf. Wenn man bedenkt, wie stark die EMF-Wirkungen von einer ganzen Reihe von physikalischen und biologischen Parametern abhängig sind (27), sind die verfügbaren Provokationsstudien wissenschaftlich schwierig zu interpretieren und sind nicht wirklich geeignet den Gegenbeweis für einen Kausalzusammenhang zu erbringen.

Es gibt in der wissenschaftlichen Literatur zunehmend Belege für verschiedene subjektive und objektive physiologische Veränderungen wie zum Beispiel eine in manchen Personen mit EHS markanten Herzratenvariabilität (HRV), die nach Aussagen der Betroffenen nach der Exposition durch bestimmte HF-Frequenzen wie DECT oder WLAN auftritt (211-215). Eine Analyse der verfügbaren Daten über die Exposition von Personen, die in der Nähe von Mobilfunkbasisstationen leben, liefert klare Hinweise auf gesundheitliche Auswirkungen wie Erschöpfung, Depression, Konzentrationsprobleme, Kopfschmerzen, Schwindel, etc. (216-220). In

dem "Leitfaden Senderbau" werden 30 Studien zu Mobilfunkbasisstationen kurz zusammengefasst (221).

Im Wohnbereich werden Signale im VLF-Frequenzbereich meist durch „Dirty Power“ / „Dirty Electricity“ verursacht, die durch Spannungs- bzw. Stromrückwirkungen elektronischer Geräte wie elektronische Netzteile für Fernseher, Bildschirme, PCs, Antriebsmotoren, Wechselrichter, Dimmerschalter, Energiesparlampen, Phasenanschnittsteuerungen sowie Funken und elektrische Überschläge bei Schaltvorgängen und an Kohlebürsten entstehen. Die kHz-Wellen / Transienten breiten sich entlang der elektrischen Installation und dem Erdungssystem (leitungsgebundene Störaussendung) aus und strahlen elektrische und/oder magnetische Felder in den Raum ab (gestrahlte Störaussendung), wodurch in ihrer Nähe Menschen exponiert werden.

Erste Hinweise aus epidemiologischen Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen „Dirty Electricity“ und den meisten Zivilisationskrankheiten, einschließlich Krebs, Herz-Kreislaufkrankungen, Diabetes, Suizid und Aufmerksamkeitsdefizit und Hyperaktivitätsstörung (222). Während viele Forschergruppe gezeigt haben, dass die Wirkungen der niederfrequenten elektromagnetischen Felder (ELF) von dem lokalen Magnetfeld abhängig sind, gibt es auch einige Studien, die darauf hindeuten, dass auch durch hochfrequente Strahlung verursachte Wirkungen von leichten Veränderungen des lokalen statischen Magnetfelds abhängig sind. In einer Literaturübersicht von Belyaev (224) wird ein physikalischer Mechanismus postuliert, der diese Wirkungen erklärt (225). Bei geringen Veränderungen des lokalen Erdmagnetfelds bis zu 10  $\mu$ T, die meist aufgrund von ferromagnetischen Gegenständen in Büros und Wohnhäusern auftreten, wurden biologische Wirkungen beobachtet, die sich gut mit den Vorhersagen des von Binhi entwickelten Ionen-Interferenz-Modells decken (226).

Am 8. Juli 2015 fällte ein Gericht in Toulouse, Frankreich, ein Urteil zugunsten einer Frau, die mit dem "Syndrom der Hypersensitivität gegenüber elektromagnetischer Strahlung" diagnostiziert wurde, und deren Erwerbsunfähigkeit aufgrund der erheblichen und anhaltenden Einschränkung des Zugangs zur Erwerbstätigkeit auf 85 % festgesetzt wurde (227).

In Frankreich wurde im Juli 2009 die erste strahlungsarme Zone in Drôme etabliert (228). In Österreich ist der Bau eines Mehrfamilienhauses für 2015 vorgesehen, das von einem Team von Architekten, Baubiologen und Umweltmedizinern mit dem Ziel entworfen wurde, eine nachhaltig gesunde Wohnumwelt zu schaffen. Sowohl der äußere Standort als auch die Gestaltung des Innenraums wurden extra so gewählt und geplant, um die Anforderungen an eine strahlungsarme Wohnumwelt erfüllen zu können (229). In zahlreichen Ländern wird die Errichtung von strahlungsarmen Zonen für Elektrosensible betrieben. Die Umsetzung solcher Projekte hängt zu einem Großteil von dem Verständnis, dem Wissen und der Toleranz der Mitglieder einer ausgewählten Gemeinschaft ab.

### **Mögliche Mechanismen der elektromagnetischen Hypersensitivität (EHS)**

In der wissenschaftlichen Literatur werden für die Wechselwirkungen von EMF mit biologischen Systemen mehrere Mechanismen diskutiert, die für diese Wechselwirkungen in Frage kommen (14, 13, 22, 26). Auf intrazellulärer und interzellulärer Ebene kommt es zum Beispiel zur Bildung von freien Radikalen oder oxidativem und nitrosativem Stress, wodurch bestimmte Wechselwirkungen plausibel erklärbar sind (230-238). In der Übersichtsarbeit von Georgiu (15) berichteten viele der zitierten Arbeiten, dass reaktive Sauerstoffspezies (ROS) an den Reaktionen von Radikalpaaren beteiligt sind; aus diesem Grund sind Radikalpaare als einer der möglichen Mechanismen zu betrachten, die fähig sind EMF-bedingten oxidativen Stress zu verursachen. Außerdem konnten viele der Veränderungen, die in HF-exponierten Zellen zu beobachten sind, durch die (vorherige) Gabe von Antioxidantien und Radikalfängern verhindert werden (24). Auch wenn bei der Interpretation der Angaben aus den verschiedenen Studien aufgrund der unterschiedlichen physikalischen und biologischen Parameter entsprechende Vorsicht geboten ist, zeigte die Mehrheit der Studien einen Einfluss von niederfrequenten (ELF) und hochfrequenten (HF) elektromagnetischen Feldern auf den oxidativen Stress (239). In der IARC-



Veröffentlichung heißt es: „Selbst kleine Wirkungen auf die Konzentration der Radikale könnte möglicherweise mehrere biologische Funktionen beeinflussen“ Seite 103 (24).

Yakymenko et al. (238) fassten die gegenwärtige Beweislage wie folgt zusammen: „Die Analyse der gegenwärtig verfügbaren wissenschaftlichen Literatur (Peer Review) zeigt, dass molekulare Wirkungen in lebenden Zellen durch schwache hochfrequente Strahlung ausgelöst werden; dazu gehören die starke Aktivierung von wichtigen Signalwegen, die reaktive Sauerstoffspezies (ROS) erzeugen, die Aktivierung von Peroxidation, die oxidative Schädigung der DNA und Veränderungen in der Aktivität antioxidativer Enzyme. Daraus ergibt sich, dass von 100 aktuell verfügbaren Studien (Peer Review), die sich mit oxidativen Wirkungen schwacher hochfrequenter Strahlung befassen, 93 generell bestätigen, dass hochfrequente Strahlung oxidative Wirkungen in biologischen Systemen auslöst. Ein enormes pathogenes Potenzial der hervorgerufenen ROS und deren Beteiligung an Signalwegen der Zellen erklären eine Reihe der durch schwache hochfrequente Strahlung ausgelösten biologischen/gesundheitlichen Auswirkungen, wozu sowohl Krebs als auch andere Krankheitsbilder als Krebs gehören.“

In Übersichtsarbeiten legt Pall (12, 16, 240) Hinweise für eine direkte Wechselwirkung zwischen statischen Feldern, statischen Magnetfelder, niederfrequenten elektrischen und magnetischen Wechselfeldern sowie hochfrequenter Strahlung und den spannungsabhängigen Kalziumkanälen (VGCC) vor. Der durch die Aktivierung dieser spannungsabhängigen Kalziumkanäle erhöhte intrazelluläre  $\text{Ca}^{2+}$ -Spiegel kann zu vielfältigen Reaktionen des Regulationsystems führen, wodurch unter anderem die  $\text{Ca}^{2+}$ /Calmodulin-abhängigen NO-Synthasen nNOS und eNOS erhöhte Mengen an Stickstoffmonoxid produzieren. In den meisten pathophysiologischen Situationen reagiert Stickstoffmonoxid mit Superoxid, wobei Peroxynitrit entsteht, ein starkes nicht radikalisiertes Oxidans, das jedoch Radikale bilden kann wie z.B. Hydroxyl-Radikale und  $\text{NO}_2$ -Radikale.

Peroxynitrit ist mit Abstand das schädlichste Molekül, das bei Stoffwechselprozessen in unserem Körper entsteht. Obgleich Peroxynitrit von Haus aus kein freies Radikal ist, ist es weitaus reaktionsfreudiger als sein Ausgangsmolekül NO und  $\text{O}_2^-$ . Die Halbwertszeit von Peroxynitrit ist vergleichsweise lang (10-20 ms), also lang genug um biologische Membranen zu durchqueren, ein bis zwei Zelldurchmesser weit zu diffundieren und mit den meisten entscheidenden Biomolekülen und Zellstrukturen (Zellmembranen, Zellkern-DNA, mitochondriale DNA, Zellorganellen) und einer großen Anzahl wichtiger Stoffwechselprozesse signifikant zu interagieren (225). Ein erhöhter Stickstoffmonoxidspiegel, die Bildung von Peroxynitrit und das Auslösen von oxidativem Stress können mit chronischen Entzündungen, einer Schädigung der Funktion und Struktur der Mitochondrien sowie Energiemangel, z.B. durch die Reduktion von Adenosintriphosphat (ATP), einhergehen.

In der Leber von Wistar-Ratten wurde bei einer ELF-Befeldung eine signifikante Erhöhung von 3-Nitrotyrosin beobachtet, was eine schädliche Wirkung auf zelluläre Proteine infolge der möglichen Bildung von Peroxynitrit nahelegt (241). Der Nitrotyrosin-Spiegel ( $> 0.9 \mu\text{g/ml}$ ) war bei 30 % der 259 Personen mit EHS erhöht (207).

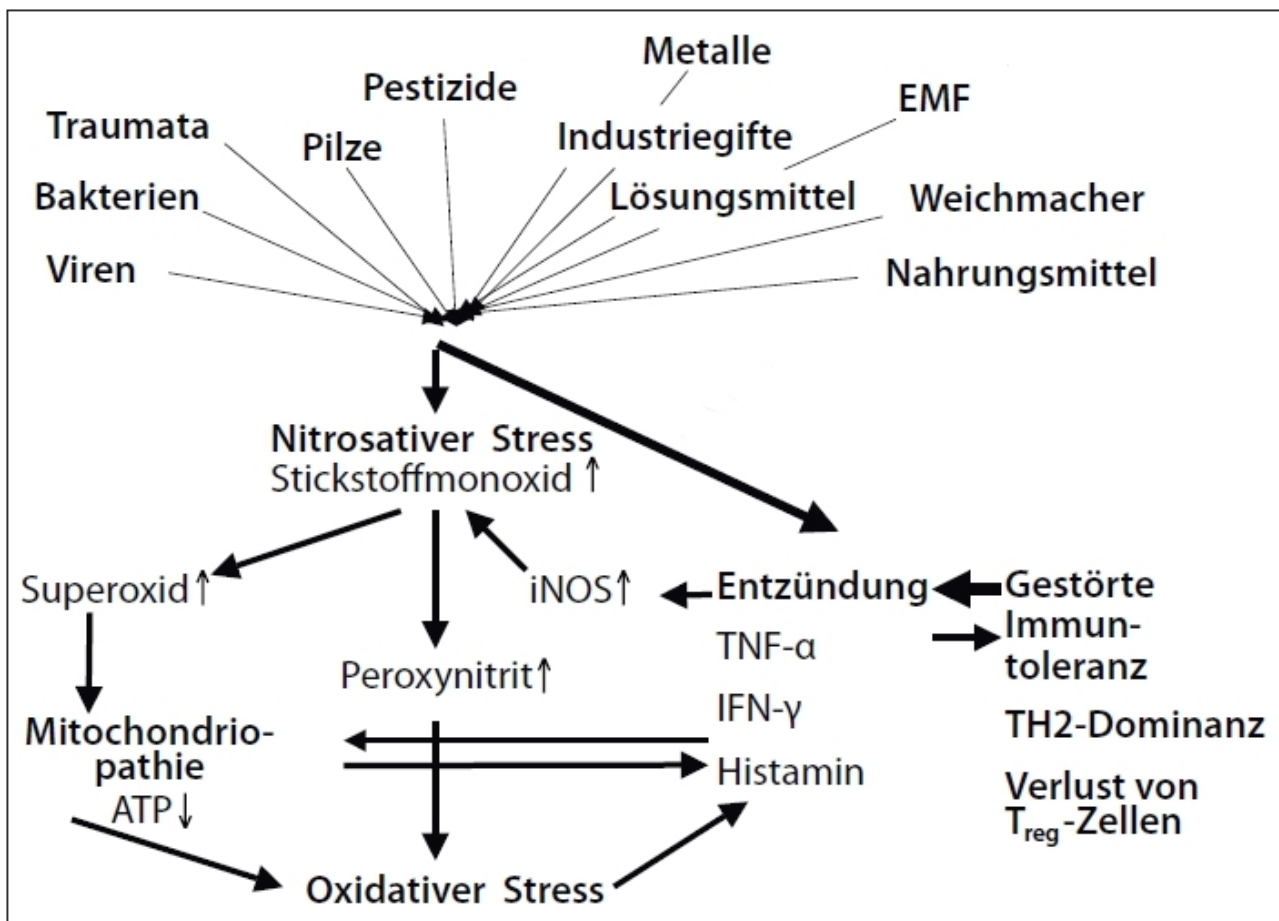
Eine Studie aus dem Jahr 2014 von De Luca et al., in der 153 Personen mit EHS und entsprechende Kontrollpersonen untersucht wurden, zeigte bei den Personen mit EHS prooxidative und proinflammatorische Veränderungen wie eine verringerte Aktivität der Glutathion-S-Transferase (GST) in Erythrozyten, einen niedrigen Spiegel des reduzierten Glutathions (GSH), eine erhöhte Aktivität der Glutathionperoxidase (GPX) in Erythrozyten, einen erhöhten Coenzym Q10-Quotient von oxidiertem CoQ10/Gesamt-CoQ10 im Plasma und ein zehnfach erhöhtes Risiko für EHS bei Trägern der Genvariante des Null-Allels für die Entgiftungsenzyme Glutathion-S-Transferase GSTT1+ (Null-Allel) und GSTM1-Varianten (Null-Allel) (242).

Die Bedeutung des ATP wurde sowohl für das Chronische Erschöpfungssyndrom (CFS) (243) als auch für die Kontrollmechanismen zur Regulation von Stress (244) gezeigt. Diese Patienten

beschreiben dieselben Symptome wie diejenigen, die an chronischen Multisystemerkrankungen (CMI) erkrankt sind. Das könnte auf Ähnlichkeiten in den Pathomechanismen hindeuten. Ähnliche Störungen bei der Expression von Neurotransmittern wurden sowohl für Patienten mit chronischer EMF-Exposition (245) als auch für CMI-Patienten (232, 246) beschrieben.

Eine Studie (247) schlug vor, einen möglichen Zusammenhang zwischen der HF-Exposition und der Integrität des Myelins mit Hilfe klassischer immunhistologischer Marker für gesundes bzw. degeneriertes Myelin und für Schwann-Zellen ganz allgemein zu untersuchen.

Die Beschwerden bei dem chronischen Erschöpfungssyndrom (CFS), der Fibromyalgie (FM), der Vielfachen Chemikalienunverträglichkeit, der Posttraumatischen Belastungsstörung (PTBS) und dem Golfkriegssyndrom sind sich sehr ähnlich. Inzwischen werden sie unter der Bezeichnung chronische Multisystemerkrankungen (CMI) zusammengefasst (246). Bei all diesen Krankheitsbildern konnten verschiedene Störungen in funktionellen Kreisläufen aufgezeigt werden: Aktivierung von Stickoxid und Peroxynitrit, chronische Entzündung durch die Aktivierung von NF- $\kappa$ B, IFN- $\gamma$ , IL-1, IL-6 und eine Wechselwirkung mit der Neurotransmitterexpression (232, 246, 248). Wir empfehlen, elektromagnetische Hypersensitivität (EHS) als eine chronische Multisystemerkrankung (CMI) (232, 249) einzustufen, aber dabei anzuerkennen, dass die eigentliche Ursache in der Umwelt begründet liegt (siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Pathogenese von Entzündung, Mitochondriopathie und nitrosativem Stress als Folge der Einwirkungen von Triggerfaktoren (248)

### Andere Krankheiten, die im Hinblick auf EMF der Aufmerksamkeit bedürfen

Aufgrund der Wechselwirkungen zwischen EMF-Expositionen und biologischen Reaktionen, die z.B. zu einer Störung der oxidativen/nitrosativen Homöostase führen, ist die Entwicklung einer Reihe von Krankheiten möglich und sogar zu erwarten. Hier werden einige Fallbeispiele beschrieben:

Havas berichtete im Jahr 2008 (250): „*Transiente elektromagnetische Felder (Dirty Electricity) im kHz-Bereich, die in der Elektroinstallation vorkommen können, können zu einem erhöhten Blutzuckerspiegel bei Diabetikern und Prädiabetikern führen. Bei der Überprüfung des Blutzuckerspiegels bei vier Diabetikern mit Typ-1- und Typ-2-Diabetes entdeckten wir, dass sie direkt auf die Menge an Dirty Electricity in ihrer Umgebung reagierten. In einer elektromagnetisch sauberen Umgebung benötigten Diabetiker mit Typ-1-Diabetes weniger Insulin und der Blutzuckerspiegel der Diabetiker mit Typ-2-Diabetes war niedriger. Dirty Electricity, die von elektronischen und drahtlosen Geräten generiert wird, ist in unserer Umwelt allgegenwärtig. Beim Lauftraining auf einem Laufband, wobei Dirty Electricity generiert wird, erhöht sich der Blutzuckerspiegel. Diese Ergebnisse erklären möglicherweise, warum Diabetiker mit schwankendem Blutzuckerspiegel Schwierigkeiten haben ihren Blutzuckerspiegel zu regulieren. Aufgrund der Schätzungen bezüglich der Menschen die an Symptomen der elektromagnetischen Hypersensitivität leiden (3-35 %) sind möglicherweise 5-60 Millionen Diabetiker weltweit davon betroffen.*“

Im Hinblick auf EMF-Expositionen während der fötalen und frühkindlichen Entwicklung hielt Sage im BioInitiative Report 2012 Folgendes fest: *"Expositionen von Föten (in der Gebärmutter) und Kleinkindern gegenüber der Strahlung von Mobiltelefonen und Funktechnologien können generell einen Risikofaktor bei Hyperaktivität, Lernstörungen und Verhaltensstörungen in der Schule sein."* [ & ] *"Wir benötigen vernünftige Maßnahmen, um die Exposition gegenüber niederfrequenten als auch hochfrequenten elektromagnetischen Feldern für diese Bevölkerungsgruppen zu reduzieren, insbesondere hinsichtlich vermeidbarer Expositionen wie bei Brutkästen, die modifiziert werden können. Außerdem ist die Aufklärung schwangerer Frauen bezüglich Laptops, Mobiltelefonen und anderer Quellen niederfrequenter (ELF) und hochfrequenter (HF) elektromagnetischer Felder leicht umsetzbar."*

In einer Übersichtsarbeit aus dem Jahr 2013 berichteten Herbert und Sage (251, 252) über erstaunliche Ähnlichkeiten zwischen pathophysiologischen Phänomenen, die bei Autismus-Spektrum-Störungen auftreten, und den physiologischen Auswirkungen von niederfrequenten Magnetfeldern (ELF MF) und hochfrequenter Strahlung (HF) wie z.B. oxidativer Stress, Schädigung durch freie Radikale, nicht richtig funktionierende Membranen, mitochondriale Dysfunktion, entzündliche Vorgänge, neuropathologische Störungen und elektrophysiologische Dysregulation, zelluläre Stressproteine und Mangel an Antioxidantien wie z.B. Glutathion.

Bei einer Studie über 6 Jahre wurden bestimmte Hormonspiegel bei freiwilligen Probanden im Blut überwacht. Zwischen der Nutzung eines Mobiltelefons sowie der Nähe zu Mobilfunkbasisstationen bestand ein Zusammenhang, und zwar hatten Männer einen erniedrigten Testosteronspiegel und Frauen als auch Männer hatten erniedrigte Spiegel von ACTH, Cortisol, T3 und T4 (253).

## Handlungsempfehlungen

Die EUROPAEM hat Richtlinien für die Differentialdiagnose und möglicher Therapien EMF-bedingter Beschwerden entwickelt mit dem Ziel, den individuellen Gesundheitszustand zu verbessern bzw. wiederherzustellen und Strategien für die Prävention vorzuschlagen. Diese Empfehlungen werden unten weiter ausgeführt.

Diese Empfehlungen haben vorläufigen Charakter und können in großen Teilen nicht in jedem Detail als evidenzbasiert gelten, auch wenn sie die verfügbare Evidenz berücksichtigen und in der Erfahrung des Autorenteam begründet sind.

## Evidenz der Therapieverfahren für EMF-bedingte Erkrankungen einschließlich EHS

Es gibt nur wenige Studien, die evidenzbasierte Therapieansätze für EHS evaluieren. Als Teil der interdisziplinären Untersuchung und Beratung von Personen mit EHS im Rahmen der Schweizer Umweltmedizin-Pilotstudie von 2001 wurde ein halbes Jahr nach der Beratung ein Auswertungsinterview durchgeführt, mit dem gezeigt werden konnte, dass 45 % der Personen mit

EHS davon profitiert hatten, gewisse Handlungsempfehlungen in die Tat umzusetzen, wie z.B. das Schlafzimmer zu wechseln (192, 193).

In einer Schweizer Fragebogenerhebung aus dem Jahr 2005 gaben zwei Drittel der befragten Ärzte mit komplementärmedizinischem Therapieangebot an, dass sie die Reduktion von EMF-Belastungen als Hauptstrategie einsetzen, wohingegen komplementäre Therapien nur ergänzend zur Anwendung kommen würden (197).

Seit 2008 betreiben die Schweizer Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz eine kleine interdisziplinäre umweltmedizinische Beratungsstruktur für Patienten mit EHS, welche in ihren Praxen mit einer zentralen Koordinations- und Beratungsstelle und einem Netzwerk von umweltmedizinisch interessierten Hausärzten nach einem standardisierten Protokoll umweltmedizinische Abklärungen und Beratungen durchführen. Bei Bedarf werden Umweltexperten herangezogen und Hausuntersuchungen durchgeführt. Ziel der Abklärung ist es, gängige Krankheiten zu erkennen oder auszuschließen und zu analysieren, welche Rolle die vermutete Umweltbelastung bei den beklagten Beschwerden spielt, um individuell Therapiewege aufzeigen zu können. Hauptinstrument der Abklärung ist eine ausführliche medizinische und psychosoziale Anamnese mit der Besonderheit einer zusätzlichen Umwelthanamnese, einschließlich eines systematischen Umweltfragebogens und umweltmedizinischer Schlüsselfragen. In den ersten Jahren wurde das Projekt wissenschaftlich evaluiert. In einer Fragebogenerhebung ein Jahr nach der Beratung empfahlen 70 % der Patienten die interdisziplinäre Beratungsstruktur und 32 % der Patienten gaben an, dass sie die Beratung als hilfreich erlebt haben. Daher scheint ein Modell, das auf einem solchen interdisziplinären Ansatz beruht und in das ganzheitliche Behandlungskonzept des Hausarztes eingebettet ist, einen vielversprechenden Therapieansatz für EHS zu bieten, und außerdem auch Zugang zu Maßnahmen zu unterstützen, die Umwelteinflüsse direkt angehen (254).

In Finnland wird für die Therapie von EHS offiziell Psychotherapie empfohlen. In einer Fragebogenerhebung von EHS-Betroffenen in Finnland wurden Multiple-Choice-Fragen benutzt, um von den Befragten selbst eingeschätzte Symptome, EMF-Quellen, Behandlungen und Wirksamkeit der medizinischen und komplementär- und alternativmedizinischen Verfahren (CAM) im Hinblick auf EHS zu evaluieren. Nach Aussagen von 76 % der 157 Umfrageteilnehmer war die Reduktion oder das Vermeiden elektromagnetischer Felder (EMF) mit dafür verantwortlich, dass sie ihre Gesundheit vollständig oder teilweise wiederherstellen konnten. Die besten Behandlungsverfahren für EHS wurden gewichtet nach ihrer Wirkung angegeben: Nahrungsumstellung (69,4 %), Nahrungsergänzungspräparate (67,8 %) und mehr körperliche Bewegung (61,6 %). Das offiziell empfohlene Behandlungsverfahren Psychotherapie (2,6 %) war nicht besonders hilfreich und Medikamente (-4,2%) sogar nachteilig. Das Vermeiden von elektromagnetischen Feldern beseitigte oder linderte die Symptome der EHS-Betroffenen (194, 255).

### **Reaktionen von Ärzten auf diese Entwicklung**

Grundsätzlich sollte man bei unspezifischen Beschwerden (siehe Patientenfragebogen), für die keine klare Ursache erkennbar ist – neben anderen Faktoren wie Chemikalien, nicht physiologischen Metallen und Schimmel – EMF-Exposition als eine mögliche Ursache oder Kofaktor in Betracht ziehen, insbesondere dann, wenn von den Patienten ein entsprechender Verdacht geäußert wird.

Ein Hauptproblem, Symptome ursächlich zuordnen zu können, besteht darin, dass die gesundheitlichen Beschwerden je nach Zeit, Ort und individueller Empfindlichkeit variieren, was ganz besonders auf umweltbedingte Ursachen wie zum Beispiel EMF zutrifft.

Im Hinblick auf solche Erkrankungen wie männliche Unfruchtbarkeit, Fehlgeburt, Alzheimer-Krankheit, ALS, Blutzuckerschwankungen, Diabetes, Krebs, Hyperaktivität, Lernschwierigkeiten und Verhaltensstörungen in der Schule wäre es wichtig, eine mögliche Verbindung zu EMF-

Expositionen in Erwägung zu ziehen. Personen mit EHS werden manchmal falsch mit Multipler Sklerose (MS) diagnostiziert, da viele der Symptome ähnlich sind. Damit bietet sich eine Möglichkeit, den Krankheitsverlauf ursächlich zu beeinflussen.

### **Vorgehensweise bei Verdacht auf EMF-bedingte Beschwerden**

Die empfohlene Vorgehensweise zur Diagnose und Therapie ist als Hilfestellung gedacht und sollte natürlich in jedem Einzelfall entsprechend angepasst werden (siehe Abbildung 2).

1. Anamnese der Beschwerden und EMF-Exposition
2. medizinische Untersuchungen und Befunde
3. Messung der EMF-Exposition
4. Reduktion und Prävention der EMF-Exposition
5. Diagnose
6. Behandlung des Patienten einschließlich der Umwelt

### **Anamnese der Beschwerden und EMF-Exposition**

Um spätere Befunde in einem größeren Zusammenhang sehen zu können, ist eine allgemeine Anamnese notwendig. Folgende Informationen sollten Teil der Anamnese sein:

- elektrisches Trauma: mehrfache Elektroschocks, Stromschlag, vom Blitz getroffen
- chemisches Trauma: Exposition gegenüber Pestiziden, Metallen, chlorierten Kohlenwasserstoffen (PCBs, DDT, etc.)
- biologisches Trauma in der Form von großen Mengen an Parasiten, Pilzinfektionen, Virusinfektionen, etc.
- physikalisches Trauma des zentralen Nervensystem in der Form von Schleudertrauma, anderen Unfällen, Problemen mit der Wirbelsäule
- Autoimmunerkrankungen

Im nächsten Schritt konzentrieren wir uns dann nur auf EMF-bedingte Beschwerden.

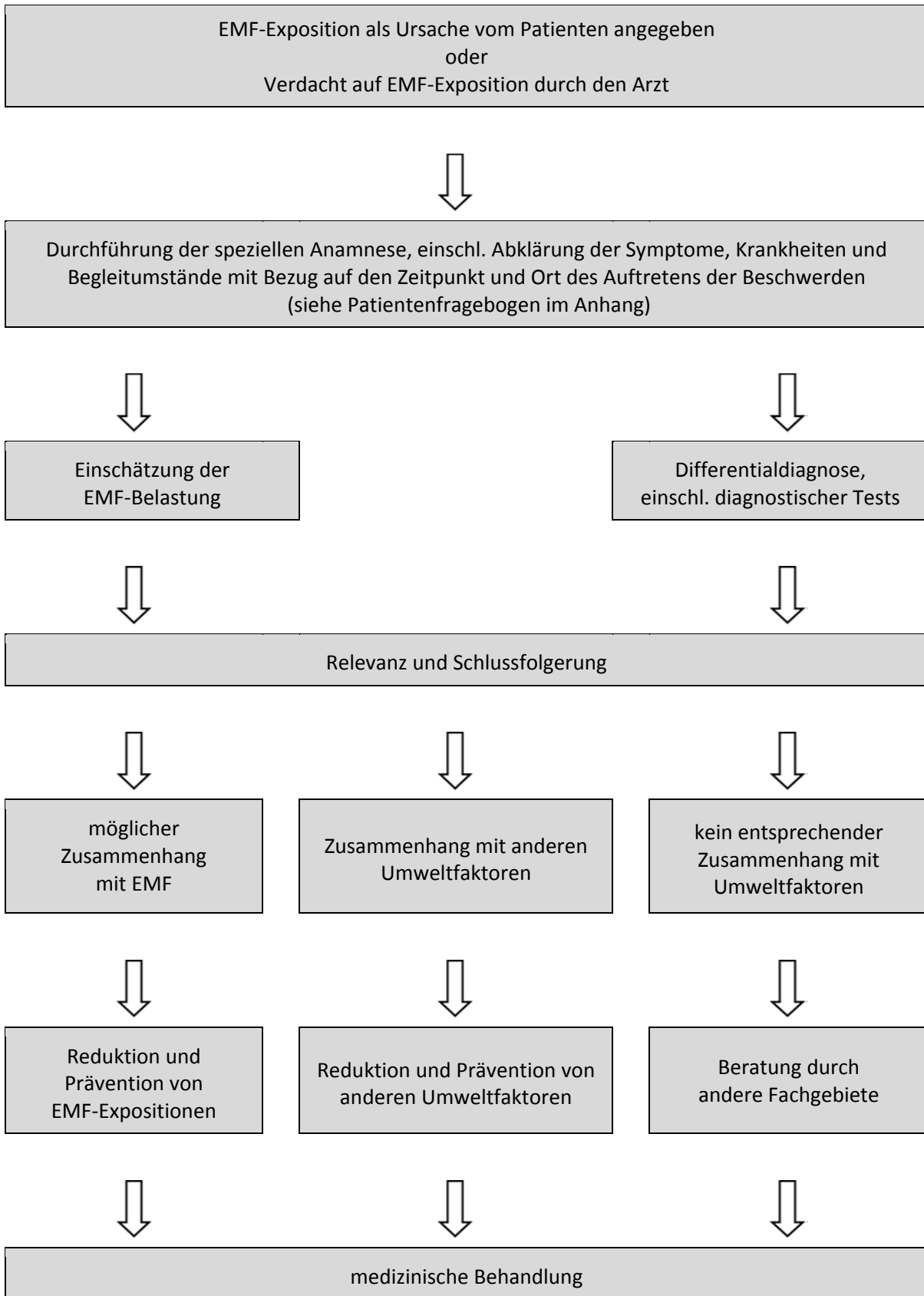


Abbildung 2: Flussdiagramm zur Abklärung EMF-bedingter Beschwerden

Zur systematischen Erhebung der Beschwerden und EMF-Exposition steht im Anhang dieser EMF-Leitlinie ein von der EUROPAEM Arbeitsgruppe EMF erstellter Fragebogen zur Verfügung.

Der Fragebogen besteht aus drei Abschnitten:

- (a) Symptomliste
- (b) Veränderung der Beschwerden je nach Zeit, Ort und Begleitumständen
- (c) Abschätzung bestimmter EMF-Expositionen, die mit Hilfe eines Fragebogens abgeklärt werden können

Die Symptomliste des Fragebogens quantifiziert systematisch Beschwerden unabhängig von deren Ursachen. Des Weiteren wird abgefragt, wann die Beschwerden das erste Mal aufgetreten sind. Die meisten EMF-bedingten Symptome sind unspezifisch und gehören zu den Beschwerden, die auf eine unzureichende Regulationsfähigkeit (Dekompensation) zurückgeführt werden können, z.B. Schlafprobleme, Müdigkeit, Erschöpfung, Energiemangel, innere Unruhe, Herzklopfen, Blutdruckprobleme, Muskel- und Gelenkschmerzen, Kopfschmerzen, erhöhtes Infektionsrisiko, Depressionen, Konzentrationsstörungen, Koordinationsstörungen, Vergesslichkeit, Angstgefühl, Harndrang, Wortfindungsstörungen, Schwindel, Tinnitus und ein Gefühl von Druck im Kopf und in den Ohren.

Der Schweregrad der Beschwerden kann von leichten, vorübergehenden Symptomen wie etwa dem Auftreten leichter Kopfschmerzen oder Parästhesien (Taubheit oder Kribbeln) im Bereich des Ohres bei der Nutzung eines Mobiltelefons oder zu grippeähnlichen Symptomen nach einer mehrstündigen Ganzkörperexposition durch EMF reichen, bis hin zu schwerwiegenden und lähmenden Symptomen, die sich in einer dramatischen Verschlechterung der physischen und psychischen Gesundheit äußern. Einerseits ist darauf hinzuweisen, dass je nach der aktuellen individuellen Empfindlichkeit einer Person EHS-Symptome zu Beginn oft nur gelegentlich auftreten, aber mit der Zeit an Häufigkeit und Intensität zunehmen können. Andererseits, wenn eine nachteilige EMF-Exposition ausreichend reduziert wird, hat der Körper auch die Chance zu genesen und EHS-Symptome werden zurückgehen oder sogar ganz verschwinden.

### **Veränderung der Beschwerden je nach Zeit, Ort und Begleitumständen**

Die Antworten auf die Fragen, wann und wo Beschwerden auftreten oder zurückgehen und wann und wo Symptome zunehmen oder besonders deutlich hervortreten, können nur Anhaltspunkte liefern. Sie müssen vom untersuchenden Arzt interpretiert werden (z.B. die korrekte Zuordnung von Ort, EMF-Quellen und Beschwerden). Schlafbereichen sollte aufgrund der Dauerbelastung durch vorhandene Umwelteinflüsse und der Bedeutung des Schlafs für die Regeneration besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

### **Abschätzung bestimmter EMF-Expositionen, die mit Hilfe eines Fragebogens abgeklärt werden können**

Die Erfassung der EMF-Belastung beginnt grundsätzlich mit einigen Fragen zu üblichen EMF-Quellen. Unabhängig davon, ob ein Patient EMF als eine Ursache in Erwägung zieht, sollten diese Fragen gestellt werden, um die gegenwärtige EMF-Belastung grob einschätzen zu können. Dabei ist zu beachten, dass nur bestimmte EMF-Expositionen über eine Befragung erhebbar sind wie z.B. die Nutzung von Kompaktleuchtstofflampen, Mobiltelefonen und Schnurlostelefonen. Andere Arten der EMF-Exposition wie z.B. Sendeanlagen oder elektrische oder magnetische Wechselfelder von Elektroinstallationen hingegen erfordern in der Regel eine Messung. Grundsätzlich sollte nach EMF-Expositionen zu Hause, am Arbeitsplatz, im Urlaub und an anderen Orten gefragt werden. Dabei ist zu beachten, dass EMF-Expositionen zeitlichen Schwankungen unterliegen können.

## Medizinische Untersuchungen und Befunde

Es gibt für EMF noch keine spezifischen klinischen Befunde, wodurch Diagnose und Differentialdiagnose erheblich erschwert werden.

Es hat sich bewährt, für die Diagnose und Verlaufskontrolle stressassoziierte Befunde zu erheben und in ihrer Zusammenschau zu beurteilen. In einem ersten Schritt sollte die Basisdiagnostik durchgeführt werden. In einem zweiten Schritt sollte eine messtechnische Erfassung der EMF-Exposition erfolgen. Die Leitdiagnose sollte sich auf folgende Untersuchungen konzentrieren: Stickstoffmonoxidproduktion (Nitrotyrosin), Mitochondriopathie (intrazelluläres ATP), oxidativer Stress und Lipidperoxidation (MDA-LDL), Entzündungsfaktoren [TNF-Alpha, IFN-gamma-inducible protein 10 ((IP-10), IL-1b, Histamin] und Melatoninstatus (Melatonin/Kreatinin-Quotient im 24-Stunden-Sammelurin).

Erst danach sollte eine erweiterte Diagnostik überlegt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Referenzbereiche der verschiedenen Labore und verschiedenen Maßeinheiten in den verschiedenen Ländern geben wir hier keine Referenzwerte für EHS-relevante Laborparameter an. Es wird empfohlen, die Laborbefunde im Kontext zu betrachten und sich nicht nur auf diejenigen Werte außerhalb des Normalbereichs zu konzentrieren. Wenn sich zum Beispiel mehrere Parameter gleichzeitig an der Unter- oder Obergrenze des Normalbereichs befinden, dann kann das für die Entwicklung des Therapiekonzepts oder die Diagnosestellung sehr aufschlussreich sein.

## Funktionelle Untersuchungen

### *Basisdiagnostik*

- Blutdruckmessung und Pulsmessung (in allen Fällen morgendlicher Ruhepuls im Bett) einschl. Selbstmessung, ggf. mehrmals täglich z.B. für eine Woche an verschiedenen Orten mit Aufzeichnung des subjektiven Wohlbefindens

### *Erweiterte Diagnostik*

- 24-Stunden-Messung des Blutdrucks (fehlende nächtliche Absenkung)
- 24-Stunden-Messung des EKGs (Herzrhythmusdiagnostik)
- 24-Stunden-Messung der Herzratenvariabilität (HRV) (Diagnostik des autonomen Nervensystems)
- Ergometrie unter körperlicher Belastung
- Schlaf-EEG zu Hause

## Laboruntersuchungen

### *Basisdiagnostik*

- Blut
  - ACTH
  - Bilirubin
  - Blutbild und Differentialblutbild
  - Harnstoff-Stickstoff
  - Cholesterin, LDL, HDL, Triglyzeride
  - Coenzym Q10 -Quotient: oxidiertes CoQ10/Gesamt-CoQ10
  - Creatinkinase (CK-MB, CK-MM)
  - hochempfindliches C-reaktives Eiweiß (hs-CRP)
  - Cystatin C (glomeruläre Filtrationsrate)
  - Elektrolyte



- Nüchternblutzucker
- Ferritin
- Glutathion S-Transferase (GST)
- reduziertes Glutathion (GSH)
- Glutathionperoxidase (GPX)
- HBA1c
- Histamin und Diaminoxidase (DAO)
- IFN-gamma inducible protein 10 (IP-10)
- Interleukin-1 (z.B. IL-1a, IL-1b)
- ATP, intrazellulär
- Leberenzyme (z.B. ALT, AST, GGT, LDH, AP)
- Magnesium (Vollblut)
- Malondialdehyd (MDA)-LDL
- Nitrotyrosin (NTT)
- Kalium (Vollblut)
- Prolaktin
- Selen (Vollblut)
- Testosteron
- TSH
- T3, T4
- Tumornekrosefaktor- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ )
- Vitamin D3
- Zink (Vollblut)
- Standard Urintest
  - Leukozyten, Erythrozyten, Albumin, Urobilinogen, pH, Bakterien, Glukose, Mikroalbumin
- zweiter Morgenurin
  - Adrenalin
  - Dopamin
  - Noradrenalin
  - Noradrenalin/Adrenalin-Quotient
  - Serotonin
  - Beta-Phenylethylamin (PEA)
- 24-Stunden-Sammelurin
  - 6-OH-Melatonininsulfat
  - Kreatinin
  - 6-OH-Melatonininsulfat/Kreatinin-Quotient
- Speichel
  - Cortisol (8 Uhr, 12 Uhr und 20 Uhr)

**Erweiterte Diagnostik**

- Urin
  - Metalle (je nach Anamnese z.B. Quecksilber, Cadmium, Blei, Arsen, Aluminium)
- zweiter Morgenurin
  - Gamma-Aminobuttersäure (GABA)
  - Glutamat
  - Kryptopyrrole

- Speichel
  - Dehydroepiandrosteron DHEA (8 Uhr und 20 Uhr)
  - Alpha-Amylase
- Blut
  - 8-Hydroxy-desoxy-Guanosin (DNA-Oxidation)
  - Biotin
  - Differenziertes Lipidprofil
  - Folsäure
  - Holo-Transcobalamin
  - Homocystein
  - Interferon-gamma (IFN- $\gamma$ )
  - Interleukin-10 (IL-10)
  - Interleukin-17 (IL-17)
  - Interleukin-6 (IL-6)
  - Interleukin-8 (IL-8)
  - Glutathion, intrazellulär
  - Lactat, Pyruvat einschl. Verhältnis
  - Lipase
  - NF-kB
  - Vitamin B6 (Vollblut)

### **Provokationstests**

Spezialeinrichtungen für z.B. Expositionen gegenüber DECT oder WLAN (für z.B. 20 bis 60 Minuten je nach individueller Regulationsfähigkeit, Empfindlichkeit und beobachteter Reaktion)

- Herzratenvariabilität (HRV) (Diagnostik des autonomen Nervensystems)
- Mikrozirkulation
- oxidativer Stress (Lipidperoxidation, Malondialdehyd, Oxo-LDL)
- für Diabetiker, Glukose im Plasma
- Dunkelfeldmikroskopie (Erythrozyten, Blutviskosität, Aktivitäten der Makrophagen, Auflösung der Zellmembran der Erythrozyten)
- für Personen mit neurologischen Problemen und Koordinationsproblemen der Fein- und Grobmotorik: ein Video, das zeigt wie die Person vor und nach der Provokation geht und ein Foto der Handschrift vor und nach der Provokation

### **Individuelle Empfindlichkeit**

- Blut (genetische Parameter und tatsächliche Funktion)
- Glutathion-S-Transferase M1(GSTM1) – Entgiftung
- Glutathion-S-Transferase 1(GSTT1) – Entgiftung
- Superoxiddismutase 2 (SOD2) – Schutz der Mitochondrien
- Catechol-O-Methyltransferase (COMT) – Stressregulation

### **Messung der EMF-Exposition**

Die Entwicklung der Spezies Mensch vollzog sich im Rahmen der natürlich vorkommenden elektromagnetischen Felder (Erdmagnetfeld, elektrisches Feld der Erde, Sferics, Schumann-Resonanz). Diese elektromagnetischen Einflüsse sind Teil unserer Biosphäre wie der Sauerstoffgehalt der Luft oder das sichtbare Licht und sie wurden in die biologischen Funktionen integriert (14).

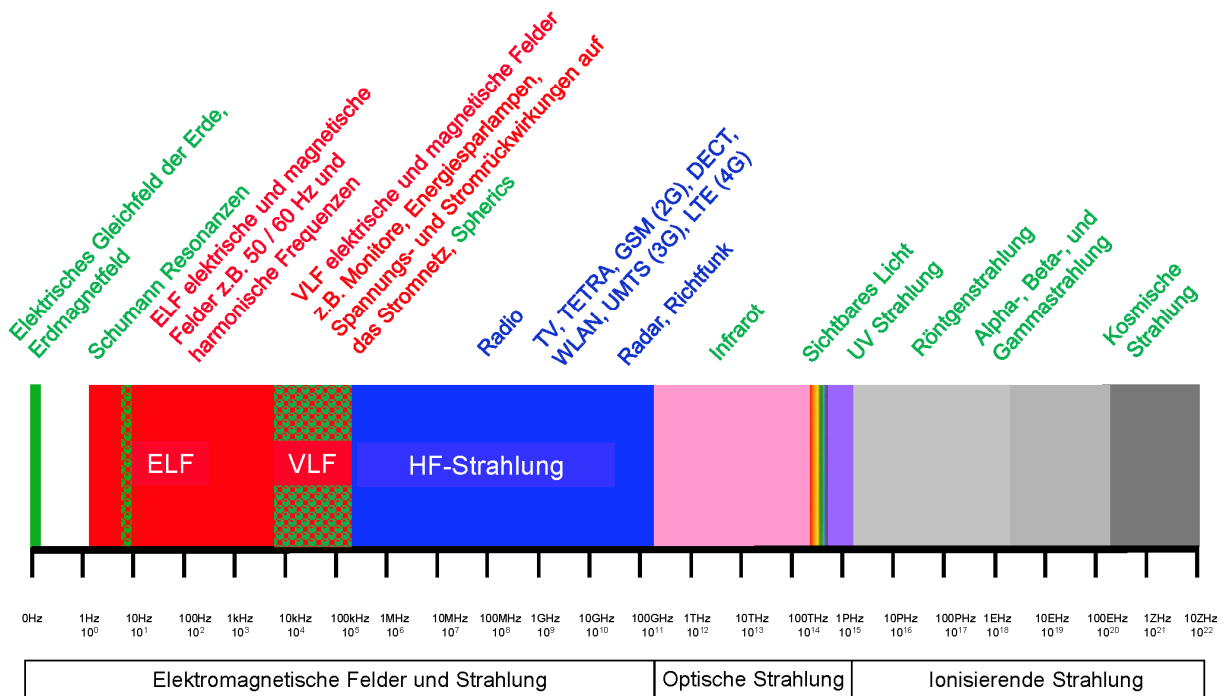
Infolge der Elektrifizierung und (drahtlosen) Kommunikationstechnologien ist der nicht ionisierende Teil des elektromagnetischen Spektrums inzwischen mit künstlichen und technischen elektromagnetischen Feldern angefüllt, aber diese finden sich kaum in der Natur (siehe Abbildung 3).

EMF-Messungen und/oder Strahlenschäden sind von gesetzlichen Krankenversicherungen üblicherweise nicht abgedeckt.

Grundsätzlich sollte eine breite Palette von EMF-Quellen (statische Felder, ELF, VLF und HF) in Erwägung gezogen werden.

- Niederfrequente magnetische Felder (ELF) können z.B. von 12-V-Transformatoren, Umspannwerken, Ausgleichsströmen auf elektrischen Leitungen, Wasserrohren und anderen leitfähigen Materialien, Infrarotheizungen, Heizdecken und verschiedenen Arten von Stromleitungen ausgehen.
- Niederfrequente elektrische Felder (ELF) können z.B. von elektrischen Leitungen, Beleuchtungsmitteln und elektrischen Geräten ausgehen.
- Magnetische Felder (Dirty Power) und elektrische Felder (Dirty Electricity) im VLF-Bereich können von Geräten wie z.B. Kompaktleuchtstofflampen, elektronischen Vorschaltgeräten, Induktionsherden, frequenzgesteuerten Antrieben, Dimmerschaltern und Powerline-Kommunikation (PLC) im Stromnetz ausgehen. Diese Geräte verwenden Strom und/oder Spannung mit kurzen Impulsen, die Oberschwingungen und Transienten im VLF-Bereich auf den elektrischen Stromkreisen, geerdeten Materialien und der Erde generieren.
- Die häufigsten Ursachen für HF-Strahlung sind z.B. Schnurlostelefone (DECT), drahtloser Internetzugang (WLAN), Mobiltelefone und ihre Basisstationen, Radio- und Fernsehsender, Radar (Militär, Flugverkehr, Schiffsverkehr und Wetter), Bluetooth und Mikrowellenherde.

### Elektromagnetisches Spektrum - natürliche und künstliche Quellen



**Abbildung 3:** Beispiele für natürliche (grün) und künstliche (rot und blau) EMF-Quellen über das gesamte elektromagnetische Spektrum (256)

Was die EMF-Belastung betrifft, ist am Schlafplatz der Kopf- und Oberkörperbereich am wichtigsten gefolgt von allen anderen Orten mit Dauerbelastung oder hoher Exposition.

EMF-Messungen sollten von speziell ausgebildeten und sachkundigen Messtechnikern geplant und durchgeführt werden und dabei sollen immer einschlägige Messvorschriften eingehalten werden wie z.B. die VDB-Richtlinien des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen (257). Der Messbericht sollte neben den Messwerten auch Vorschläge für eine mögliche Expositionsreduktion enthalten. Um bestimmte EMF-Situationen zu klären, können Personendosimeter mit Datenlogger-Funktion für Langzeitaufzeichnungen von niederfrequenten magnetischen Wechselfeldern und hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung eingesetzt werden. Nachdem der Patient einen Messtechniker beauftragt hat und die Messungen durchgeführt wurden, sollten die Messergebnisse mit einem Arzt, der mit der EMF-Problematik vertraut ist, besprochen werden.

### **EMF-Richtwerte**

Bei der Beurteilung der jeweiligen Messergebnisse sollten nachfolgende Aspekte berücksichtigt werden (26, 27):

- individuelle Empfindlichkeit, die z.B. mit vorherigen Traumata im Zusammenhang stehen kann (elektrische, chemische, biologische und physikalische)
- individuelle Gesamtbelastung des Körpers (z.B. Expositionen gegenüber Lärm, Chemikalien wie Nervengifte)
- Dauer der EMF-Exposition
- EMF-Exposition am Tag oder in der Nacht
- multiple Expositionen gegenüber verschiedenen EMF-Quellen
- Signalstärke: Watt/m<sup>2</sup> (W/m<sup>2</sup>), Volt/m (V/m), Ampere/m (A/m)
- Bei der Festlegung der Richtwerte wurde die Charakteristik der Funksignale berücksichtigt – siehe Ergänzung 3 (258)
  - Frequenz
  - Anstiegszeit von Störimpulsen ( $\Delta T$ ), Transiente, etc.
  - Frequenz und Periodizität der Bursts z.B. bei bestimmten GSM-Basisstationen (8,3 Hz), WLAN-Netzwerken (10 Hz), DECT-Schnurlostelefonen (100 Hz)
  - Art der Modulation (Frequenzmodulation, Amplitudenmodulation, Phasenmodulation)

Unabhängig von den ICNIRP-Empfehlungen für spezifische akute Effekte gelten nachfolgende Richtwerte (Tabellen 1-3, 5 und 6) für Orte empfindlicher Nutzung, an denen sich Personen länger als 20 Stunden pro Woche aufhalten (259). Sie basieren auf epidemiologischen Studien (9, 10, 27, 221, 260-262), empirischen Beobachtungen und praxisbezogenen Messungen (258, 263) sowie Empfehlungen des Seletun Statement (40) und des Europarates (42). Die hier vorgeschlagenen Richtwerte basieren auf wissenschaftlichen Daten unter Einbeziehung des vorbeugenden Gesundheitsschutzes und haben das Ziel, bereits erkrankten Patienten zu helfen, ihre Gesundheit und ihr Wohlbefinden wiederherzustellen. Alle weiter unten aufgeführten Richtwerte beziehen sich auf ankommende Intensitäten und Ganzkörperexposition.

## Niederfrequente magnetische Felder (ELF MF)

### Messverfahren

**Frequenzbereich:** 50/60 Hz Netzstrom, bis zu 2 kHz. 16,7 Hz Bahnstrom in Österreich, Deutschland, Schweiz, Schweden und Norwegen, 400 Hz in Flugzeugen

**Art der Messung:** magnetische Induktion oder Flussdichte [T; mT;  $\mu$ T; nT]

**Messsonde:** isotrope Magnetfeldsonde (drei orthogonale Achsen)

**Detektor-Modus:** RMS (root mean square = Effektivwert)

**Messvolumen:** Bett: Kurzzeitmessungen am gesamten Schlafplatz

Arbeitsplatz: Kurzzeitmessungen am gesamten Arbeitsplatz (z.B. Sitzposition)

Langzeitmessungen: z.B. Messpunkt in der Nähe von Kopf/Oberkörper im Bett oder am Arbeitsplatz

**Messzeitraum:** Kurzzeitmessungen, um Feldquellen zu bestimmen

Langzeitmessungen im Schlafzeitraum und während der Arbeitszeit

Bewertungsgrundlage: Langzeitmessungen: Maximum (MAX) und arithmetisches Mittelwert (AVG)

### Richtwerte

*An Orten, wo sich Personen für längere Zeit aufhalten (> 4 Stunden pro Tag), soll die Exposition gegenüber niederfrequenten magnetischen Feldern (ELF) so weit wie möglich minimiert werden oder unterhalb der unten angegebenen Richtwerte liegen.*

**Tabelle 1:** Richtwerte für niederfrequente magnetische Felder (ELF)

niederfrequente magnetische Wechselfelder (ELF)	Exposition am Tag	Exposition in der Nacht	empfindliche Personengruppen
arithmetisches Mittel (AVG)	100 nT (1 mG) <sup>1), 2), 3)</sup>	100 nT (1 mG) <sup>1), 2), 3)</sup>	30 nT (0,3 mG) <sup>5)</sup>
Maximum (MAX)	1000 nT (10 mG) <sup>2), 4)</sup>	1000 nT (10 mG) <sup>2), 4)</sup>	300 nT (3 mG) <sup>5)</sup>

Auf der Grundlage von: <sup>1)</sup> BioInitiative (9, 10); <sup>2)</sup> Oberfeld (262); <sup>3)</sup> Seletun Statement (40); <sup>4)</sup> NISV (264); <sup>5)</sup> Vorsorgeansatz beruht auf einem Faktor 3 (Feldstärke). Siehe auch IARC 2002 (30), Blank und Goodman (17) und TCO Development (265).

### Spezifische Richtwerte für den Schlafbereich

*Höhere Frequenzen als der Netzstrom von 50/60 Hz und deutliche Oberschwingungen sollten kritischer bewertet werden. Beachten Sie weiter unten auch die Richtwerte für den VLF-Bereich. Falls zutreffend, sollten Netzstrom (50/60 Hz) und Bahnstrom (16,7 Hz) einzeln erfasst, aber addiert werden (quadratischer Mittelwert). Langzeitmessungen sollten insbesondere in der Nacht durchgeführt werden, aber mindestens für 24 Stunden.*

**Niederfrequente elektrische Felder (ELF EF)****Messverfahren**

**Frequenzbereich:** 50/60 Hz Netzstrom, bis zu 2 kHz. 16,7 Hz Bahnstrom in Österreich, Deutschland, Schweiz, Schweden und Norwegen

**Art der Messung:** elektrische Feldstärke [V/m], ohne Erdpotenzial (potenzialfrei)

**Messsonde:** isotrope elektrische Feldsonde (drei orthogonale Achsen)

**Detektor-Modus:** RMS (root mean square = Effektivwert)

**Messvolumen:** Bett: Neun-Punkte-Rastermessung am gesamten Schlafplatz  
Arbeitsplatz: am gesamten Arbeitsplatz (z.B. Drei- oder Sechs-Punkte-Rastermessung für Sitzposition)

**Messzeitraum:** Einzelmessungen, um die Feldstärke zu ermitteln und Feldquellen zu bestimmen. Da sich die Spannung niederfrequenter elektrischer Felder (ELF) gewöhnlich nicht verändert, sind Langzeitaufzeichnungen nicht erforderlich.

**Bewertungsgrundlage:** Momentanwert (Maximum) an wichtigen Expositionspunkten

**Richtwerte**

*An Orten, wo sich Personen für längere Zeit aufhalten (> 4 Stunden pro Tag), soll die Exposition gegenüber niederfrequenten elektrischen Feldern so weit wie möglich minimiert werden oder unterhalb der unten angegebenen Richtwerte liegen.*

**Tabelle 2:** Richtwerte für niederfrequente elektrische Wechselfelder (ELF)

niederfrequente elektrische Felder (ELF)	Exposition am Tag	Exposition in der Nacht	empfindliche Personengruppen
Maximum (MAX)	10 V/m <sup>1), 2)</sup>	1 V/m <sup>2)</sup>	0,3 V/m <sup>3)</sup>

Auf der Grundlage von: <sup>1)</sup> Entwurf für Empfehlungen der Nationalen Strahlenschutzkommission der USA (NCRP): Option 2, 1995 (261); <sup>2)</sup> Oberfeld (262); <sup>3)</sup> Vorsorgeansatz beruht auf einem Faktor 3 (Feldstärke). Siehe auch TCO Development (265).

**Spezifische Richtwerte für den Schlafbereich**

*Höhere Frequenzen als der Netzstrom von 50/60 Hz und deutliche Oberschwingungen sollten kritischer bewertet werden. Beachten Sie weiter unten auch die Richtwerte für den VLF-Bereich.*

## Hochfrequente elektromagnetische Strahlung (HF)

### Messverfahren

**Frequenzbereich:** Rundfunk- und Fernsehsender, Mobilfunkbasisstationen z.B. TETRA (400 MHz), GSM (900 und 1800 MHz), UMTS (2100 MHz), LTE (800, 900, 1800, 2500–2700 MHz), Basisstationen von Schnurlostelefonen z.B. DECT (1900), WLAN-Access Points und -Clients (2450 und 5600 MHz), WiMAX (3400–3600 MHz). Die oben aufgeführten Frequenzen im MHz-Bereich beziehen sich auf europäische Netze.

**Art der Messung:** in der Regel elektrisches Feld [V/m] -> berechnete Leistungsdichte [ $\text{W}/\text{m}^2$ ;  $\text{mW}/\text{m}^2$ ;  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ]; für die Umrechnung der Maßeinheiten siehe Tabelle 4.

**Messsonde:** isotrope, bikonische oder logarithmisch-periodische Antennen

**Detektor-Modus:** PEAK-Detektor mit MAX HOLD

**Messvolumen:** Expositionspunkte über das gesamte Bett und den Arbeitsplatz

**Messzeitraum:** in der Regel Kurzzeitmessungen, um die HF-Quellen (z.B. akustische Diagnose) und Spitzenwerte zu bestimmen

**Bewertungsgrundlage:** bandselektive oder frequenzselektive Momentanmessung (PEAK-Detektor mit MAX HOLD) von häufig vorkommenden Signalen an wichtigen Expositionspunkten (z.B. mit Spektrumanalysator oder wenigstens einem bandselektiven HF-Breitbandmessgerät)

### Richtwerte für ausgewählte HF-Quellen

*An Orten, wo sich Personen für längere Zeit aufhalten (> 4 Stunden pro Tag), soll die Exposition gegenüber hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung (HF) so weit wie möglich minimiert werden oder unterhalb der unten angegebenen Richtwerte liegen. Die Auswahl der Frequenzen für die Messung sollte den individuellen Gegebenheiten angepasst werden. Die spezifischen HF-Richtwerte berücksichtigen die Signalcharakteristik der Anstiegszeit ( $\Delta T$ ) und die niederfrequente (ELF) periodische Pulsung (258). Hinweis: Rechteckige Signale weisen kurze Anstiegszeiten auf und setzen sich aus einem breiten Spektrum von Frequenzen zusammen. Die im Körper induzierte Stromdichte erhöht sich mit zunehmender Frequenz in einem annähernd linearen Zusammenhang (266).*

**Tabelle 3:** Richtwerte für hochfrequente elektromagnetische Strahlung (HF)

HF-Quelle MAX PEAK / PEAK HOLD	Exposition am Tag	Exposition in der Nacht	empfindliche Personengruppen <sup>1)</sup>
Rundfunk (UKW)	10.000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
TETRA	1000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	10 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
DVBT	1000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	10 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
GSM (2G) 900/1800 MHz	100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	10 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
DECT	100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	10 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
UMTS (3 G)	100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	10 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
LTE (4G)	100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	10 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
GPRS (2,5 G) mit PTCCH* (8,33 Hz Puls)	10 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	0,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
DAB+ (10,4 Hz Puls)	10 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	0,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$
WLAN 2,4/5,6 GHz (10 Hz Puls)	10 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$	0,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

\*PTCCH = Packet Timing Advance Control Channel

Auf der Grundlage von: BioInitiative (9, 10); Kundi and Hutter (260); Leitfaden Senderbau (221); PACE (42); Seletun Statement (40). <sup>1)</sup> Vorsorgeansatz beruht auf einem Faktor 3 (Feldstärke) = und einem Faktor 10 (Leistungsdichte). Siehe auch IARC 2013 (24) und Margaritis et al. (267).

**Tabelle 4:** Umrechnung der Maßeinheiten für hochfrequente Strahlung

<b>Umrechnung der HF-Maßeinheiten</b>	mW/m <sup>2</sup>	10	1	0,1	0,01	0,001	0,0001
	μW/m <sup>2</sup>	10.000	1000	100	10	1	0,1
	μW/cm <sup>2</sup>	1	0,1	0,01	0,001	0,0001	0,00001
	V/m	1,9	0,6	0,19	0,06	0,019	0,006

## Magnetische Felder im VLF-Bereich (VLF MF)

### Messverfahren

**Frequenzbereich:** 3 kHz - 3 MHz frequenzselektive Messungen (Spektrumanalysator / EMF-Messgerät) z.B. Dirty Power, Powerline-Kommunikation (PLC), RFID-Sender zur Identifizierung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen (RFID), Kompaktleuchtstofflampen (CFL)

**Art der Messung:** magnetisches Feld [A/m] → berechnete magnetische Induktion [T; mT; μT; nT]

**Messsonde:** isotrope oder anisotrope Magnetfeldsonde

**Detektor-Modus:** RMS (root mean square = Effektivwert)

**Messvolumen:** Expositionspunkte am gesamten Schlafplatz und Arbeitsplatz

**Messzeitraum:** Kurzzeitmessungen um Feldquellen zu bestimmen  
Langzeitmessungen im Schlafzeitraum und während der Arbeitszeit

**Bewertungsgrundlage:** Langzeitmessungen: RMS-Detektor, arithmetisches Mittel und Maximum an wichtigen Expositionspunkten

**Hinweis:** Wenn eine erhöhte Exposition gemessen wird, können Netzqualitätsanalytoren und Oszilloskope benutzt werden, um die Quelle der Dirty Power auf der Leitung ausfindig zu machen.

### Richtwerte

*An Orten, wo sich Personen für längere Zeit aufhalten (> 4 Stunden pro Tag), soll die Exposition gegenüber VLF Magnetfeldern so weit wie möglich minimiert werden oder unterhalb der unten angegebenen Richtwerte liegen.*

**Tabelle 5:** Richtwerte für VLF Magnetfelder

VLF Magnetfelder	Exposition am Tag	Exposition in der Nacht	empfindliche Personengruppen
arithmetisches Mittel (AVG)	1 nT (0,01 mG) <sup>1)</sup>	1 nT (0,01 mG) <sup>1)</sup>	0,3 nT (0,003 mG) <sup>2)</sup>
Maximum (MAX)	10 nT (0,1 mG) <sup>1)</sup>	10 nT (0,1 mG) <sup>1)</sup>	3 nT (0,03 mG) <sup>2)</sup>

Auf der Grundlage von:<sup>1)</sup> Die im Körper induzierte Stromdichte erhöht sich mit zunehmender Frequenz in einem annähernd linearen Zusammenhang (266). Daher sollte der Richtwert für VLF Magnetfelder niedriger sein als für das magnetische Wechselfeld bei 50/60 Hz, z.B. für 100 nT RMS/100 = 1 nT. Für die Begründung von 100 nT (AVG) und 1 μT (MAX) siehe Abschnitt "Niederfrequente elektrische Wechselfelder (ELF)".<sup>2)</sup> Vorsorgeansatz beruht auf dem Faktor 3 (Feldstärke). Siehe auch TCO Development (265).



## Elektrische Felder im VLF-Bereich (VLF EF) Messverfahren

**Frequenzbereich:** 3 kHz - 3 MHz frequenzselektive Messungen (Spektrumanalysator / EMF-Messgerät) z.B. Dirty Electricity, Powerline-Kommunikation (PLC), RFID-Sender zur Identifizierung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen (RFID), Kompaktleuchtstofflampen (CFL)

**Art der Messung:** elektrische Feldstärke [V/m]

**Messsonde:** isotrope, bikonische oder logarithmisch-periodische elektrische Feldsonde

**Detektor-Modus:** RMS (root mean square = Effektivwert)

**Messvolumen:** Expositionspunkte über das gesamte Bett und den Arbeitsplatz

**Messzeitraum:** Kurzzeitmessungen, um Feldquellen zu bestimmen  
Langzeitmessungen im Schlaf und bei Schichtarbeit

**Bewertungsgrundlage:** Langzeitmessungen: arithmetisches Mittel an wichtigen Expositionspunkten

**Hinweis:** Wenn eine erhöhte Exposition gemessen wird, können Netzqualitätsanalytoren und Oszilloskope benutzt werden, um die Quelle der Dirty Electricity ausfindig zu machen.

### Richtwerte

*An Orten, wo sich Personen für längere Zeit aufhalten (> 4 Stunden pro Tag), soll die Exposition gegenüber VLF elektrischen Feldern so weit wie möglich minimiert werden oder unterhalb der unten angegebenen Richtwerte liegen.*

**Tabelle 6:** Richtwerte für VLF elektrische Felder (VLF)

VLF elektrische Felder	Exposition am Tag	Exposition in der Nacht	empfindliche Personengruppen
arithmetisches Mittel (AVG)	0,1 V/m <sup>1)</sup>	0,01 V/m <sup>1)</sup>	0,003 V/m <sup>2)</sup>

Auf der Grundlage von: <sup>1)</sup> Die im Körper induzierte Stromdichte erhöht sich mit zunehmender Frequenz in einem annähernd linearen Zusammenhang (266). Daher sollte der Richtwert für das elektrische Feld im VLF-Bereich niedriger sein als für das elektrische Feld bei 50/60 Hz, z.B. für 10 V/m/100 = 0,1 V/m. Für die Begründung von 10 V/m und 1 V/m siehe Abschnitt "Niederfrequente elektrische Felder (ELF)". <sup>2)</sup> Vorsorgeansatz beruht auf dem Faktor 3 (Feldstärke). Siehe auch TCO Development (265).

## Reduktion und Prävention der EMF-Exposition

Die Prävention oder Reduktion der EMF-Exposition ist, in Absprache mit dem Messtechniker, aus mehreren Gründen zielführend:

- (a) zur Risikovermeidung und -reduktion auf individueller Ebene und auf Ebene der öffentlichen Gesundheit,
- (b) zur Klärung allfälliger Zusammenhänge mit Beschwerden,
- (c) um EMF-bedingte Beschwerden kausal zu behandeln.

Es gibt eine große Zahl möglicher Ursachen für auffällige EMF-Expositionen. In dieser Leitlinie können nur einige Beispiele angeführt werden. Weiterführende Informationen bieten zum Beispiel folgende Dokumente: "Options to Minimize EMF/RF/Static Field Exposures in Office Environments" (268) und "Elektrosmog im Alltag" (269). Für ausführliche Informationen zur Physik, den Eigenschaften und Messverfahren elektromagnetischer Felder siehe Virnich (270); für die Reduktion hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung (HF) im Wohnbereich und in Büroräumen siehe Pauli und Moldan (271).

In den meisten Fällen ist es notwendig Messexperten (z.B. kompetente EMF-Ingenieure, Hochfrequenz-Ingenieure) und/oder Elektriker zur Beratung hinzuziehen, die Empfehlungen aussprechen können, welche Maßnahmen zu einer Reduktion der EMF-Exposition führen.

### Reduktion der EMF-Exposition – Erste Schritte

Als Erstes werden Empfehlungen (auch als Vorsorgemaßnahmen) gegeben, die typische EMF-Expositionen entfernen oder reduzieren helfen. Diese Maßnahmen können die Beschwerden ggf. bereits innerhalb von Tagen oder Wochen lindern. Die folgenden Maßnahmen können empfohlen werden.

#### Wie man Belastungen durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung (HF) vermeiden kann

- Halten Sie Telefonate mit dem Handy/Smartphone kurz und benutzen Sie die Freisprechfunktion oder eine Freisprecheinrichtung.
- Vermeiden Sie es, das Handy/Smartphone direkt am Körper zu tragen.
- Deaktivieren Sie alle nicht wichtigen Apps auf Ihrem Smartphone, da Apps regelmäßige Strahlenexposition verursachen.
- Schalten Sie Ihr Handy/Smartphone nach Möglichkeit auf Flugmodus oder deaktivieren Sie die Datenverbindung, WLAN, Bluetooth und Nahfeldkommunikation (NFC) unter Einstellungen.
- Unterbrechen Sie die Stromversorgung oder stecken Sie das Netzteil aller DECT-Schnurlostelefone aus. DECT-Schnurlostelefone mit der Zusatzbezeichnung „ECO Modus plus“, „Full ECO Mode“, „fulleco“ oder DECT „zero“ im Standby sind nur bedingt zu empfehlen, da die Strahlung am Mobilteil während eines Telefonats gar nicht oder oft nur unwesentlich reduziert wird. Stattdessen wird die Benutzung eines konventionellen schnurgebundenen Telefons empfohlen.
- Unterbrechen Sie die Stromversorgung oder stecken Sie das Netzteil aller WLAN-Access Points oder WLAN-Router aus. Viele kabelgebundene Netzwerk-Router verfügen heute über ein zusätzliches WLAN-Modul. Rufen Sie den Anbieter des LAN-Routers an und ersuchen Sie darum, die WLAN-Verbindung zu deaktivieren. Es ist in der Regel auch möglich, das online selbst zu tun, wenn man den Anweisungen des Anbieters folgt.
- Im Fall einer Hochfrequenzbelastung von außen sollten die Zimmer – vor allem Schlafzimmer – gewählt werden, die von der Strahlenquelle abgewandt sind.
- Verzichten Sie bei Ihrem Internetzugang auf PowerLAN-Netzwerke (dLAN) und verwenden Sie dafür eine leitungsgebundene Ethernet-Verbindung (LAN).
- Vermeiden Sie Hochfrequenzbelastungen zu Hause, im Büro und im Auto (z.B. drahtlose

Geräte wie Heimunterhaltung, Headsets, Babyphone, Computerspiele, Drucker, Tastaturen, Mäuse, Überwachungsanlagen).

- Vermeiden Sie Energiesparlampen (Kompaktleuchtstofflampen sowie einige LED-Lampen produzieren hochfrequente transiente Signale). Diese Arten von Beleuchtungsmitteln können durch Glühlampen oder Hochvolt-Halogenlampen so lange ersetzt werden, bis qualitativ hochwertige energiesparende Lampen im Handel erhältlich sind.

#### **Wie man Belastungen durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder vermeiden kann**

- Halten Sie mit Ihrem Bett oder Schreibtisch Abstand von Netzkabeln und den elektrischen Leitungen in der Wand. Es wird empfohlen, einen Mindestabstand von 30 cm zur Wand einzuhalten.
- Da Magnetfelder Wände durchdringen, sollte sichergestellt werden, dass sich in unmittelbarer Nähe des Bettes oder in einem angrenzenden Raum keine Magnetfeldquellen befinden.
- Eine andere einfache Maßnahme besteht darin, den Strom zum Schlafzimmer nachts zum Schlafen abzuschalten (Sicherung im Sicherungskasten). Probieren Sie es für eine Testphase von z.B. zwei Wochen aus. Diese Maßnahme ist nicht immer erfolgreich, da Stromkreise von benachbarten Räumen die Feldbelastung ggf. erhöhen können. Um sicher zu wissen, welche Sicherungen nachts ausgeschaltet werden müssen, muss das elektrische Feld gemessen werden. Die Möglichkeit eines Unfalls sollte gegen den Nutzen abgewogen werden. Deshalb empfiehlt es sich während der Testphase eine Taschenlampe zu benutzen.
- Schalten Sie alle nicht wichtigen Stromkreise ab, gegebenenfalls auch die ganze Wohnung oder das ganze Haus. (Anmerkung: Siehe vorstehende Erläuterung.)
- Verzichten Sie auf eine elektrische Heizdecke während des Schlafes: Schalten Sie die Heizdecke nicht nur aus, sondern ziehen Sie auch den Stecker aus der Steckdose.
- Vermeiden Sie es, sich in der Nähe eines Elektromotors aufzuhalten, wenn er läuft. Als ersten Schritt halten Sie einen Mindestabstand von 1,5 m. Als zweiten Schritt halten Sie einen Sicherheitsabstand ein, der auf Messungen des Magnetfeldes beruht.

#### **Wie man Belastungen durch statische magnetische und statische elektrische Felder vermeiden kann**

- Schlafen Sie in einem metallfreien Bett und auf einer metallfreien Matratze.
- Halten Sie beim Schlafen Abstand zu Eisenmaterialien (Heizkörper, Stahl, etc.).
- Beim Tragen von synthetischer Kleidung sowie Schuhen mit Gummisohlen und wenn man nicht regelmäßig Erdkontakt hat, kann es zu elektrostatischen Aufladungen kommen. Baumwollkleidung und Schuhe mit Ledersohlen helfen elektrostatische Aufladungen zu vermeiden.

#### **Reduktion der EMF-Exposition – Zweite Schritte**

Als ein zweiter Schritt sollten EMF-Messungen und Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden. Hier folgen typische Beispiele:

- Niederfrequente elektrische Felder (ELF) sollten im Bett gemessen werden. Lassen Sie aufgrund der Messergebnisse für jene Stromkreise, die die Feldbelastung erhöhen, Netzfreischalter installieren.
- Niederfrequente elektrische Felder (ELF) sollten auch an allen anderen Orten gemessen werden, die für längere Zeit zu Hause und am Arbeitsplatz verwendet werden. Im Bedarfsfall sollte eine Lampe, die im Nahbereich benutzt wird, ein geschirmtes Kabel und einen geerdeten Beleuchtungskörper (Metall) aufweisen. Besonders in Gebäuden in Leichtbauweise (Holz, Gipskarton) muss ggf. eine ältere Elektroinstallation ohne Schutzleiter durch eine mit Schutzleiter oder sogar eine mit geschirmten Leitungen ersetzt werden. In besonderen Fällen muss ggf. das gesamte Gebäude mit geschirmten Leitungen und geschirmten Steckdosen ausgestattet werden.
- Das niederfrequente Magnetfeld sollte in der Nähe des Bettes gemessen werden, z.B. über 24 Stunden. Falls Ausgleichsströme gemessen werden, müssen die Elektroinstallation und die Erdung

- des Gebäudes saniert werden, um die damit verbundene Magnetfeldbelastung zu reduzieren.
- Zum Schutz vor einem elektrischen Schlag ist eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (FI) zu installieren (Sicherheitsmaßnahme).
  - Die Hochfrequenzbelastung sollte gemessen werden und bei einer hohen Belastung sollten HF-Abschirmmaterialien an den entsprechenden Wänden, Fenstern, Türen, Decken und Fußböden angebracht werden. Zum Beispiel kann es in einem Mehrfamilienhaus (Eigentumswohnungen oder Hochhauswohnungen, Reihenhäuser) durch die Nähe zu den Nachbarn zu Hochfrequenzbelastungen kommen.
  - Die Belastung durch „Dirty Electricity“ / „Dirty Power“ (elektrische und magnetische Felder im VLF-Bereich) soll gemessen und deren Quellen zugeordnet werden, um sie daraufhin zu entfernen. Wenn es nicht möglich sein sollte, die Störquellen selbst zu entfernen, können entsprechende Entstörfilter in den Leitungen zur Störquelle eingesetzt werden.

## Diagnose

Wir müssen zwischen EHS und anderen EMF-bedingten Beschwerden, die durch EMF-Expositionen ausgelöst, gefördert und verschlimmert werden können – wie zum Beispiel bestimmte Krebsarten, Alzheimer-Krankheit, ALS, männliche Unfruchtbarkeit, etc. – unterscheiden. Eine Untersuchung für EHS und andere EMF-bedingte Beschwerden erfolgt zum größten Teil auf der Basis einer fundierten Anamnese. Dabei stehen vor allem die Zusammenhänge zwischen den Beschwerden und den zeitlichen, örtlichen und sonstigen Begleitumständen einer EMF-Exposition im Vordergrund, und auch das Fortschreiten der Symptome über die Zeit und die individuelle Empfindlichkeit. Zusätzlich unterstützen Messungen der EMF-Exposition und die Ergebnisse zusätzlicher diagnostischer Abklärungen (Laboruntersuchungen, Herz-Kreislauf-System) die Diagnosefindung. Des Weiteren sind soweit wie möglich alle anderen in Frage kommenden Ursachen auszuschließen.

Im Jahr 2000 verabschiedete der Nordische Ministerrat (Finnland, Schweden und Norwegen) den folgenden unspezifischen ICD-10-Schlüssel für EHS: Kapitel XVIII „Symptome und abnorme klinische und Laborbefunde, die anderenorts nicht klassifiziert sind“, Schlüssel R68.8 "Sonstige näher bezeichnete Allgemeinsymptome" (272).

Im Hinblick auf die aktuelle Internationale Klassifikation der Krankheiten (ICD), ICD-10-WHO 2015, empfehlen wir derzeit für:

- (a) elektromagnetische Hypersensitivität (EHS): die bestehenden diagnostischen Schlüssel für die verschiedenen Symptome zu benutzen **plus** Schlüssel R68.8 "Sonstige näher bezeichnete Allgemeinsymptome" **plus** Schlüssel Z58.4 "Exposition gegenüber Strahlung" und/oder Schlüssel Z57.1 "Berufliche Exposition gegenüber Strahlung".
- (b) EMF-bedingte Beschwerden (außer EHS): die bestehenden diagnostischen Schlüssel für die verschiedenen Krankheiten/Symptome zu benutzen **plus** Schlüssel Z58.4 "Exposition gegenüber Strahlung" und/oder Schlüssel Z57.1 "Berufliche Exposition gegenüber Strahlung".

Im Hinblick auf das nächste ICD-Update, das 2018 veröffentlicht wird (ICD-11 WHO), empfehlen wir:

- (a) die Einführung von ICD-Schlüsseln für umweltbedingte chronische Multisystemerkrankungen (CMI) wie z.B. Vielfache Chemikalienunverträglichkeit (MCS), Chronisches Erschöpfungssyndrom (CFS), Fibromyalgie (FM) und Elektromagnetische Hypersensitivität (EHS) auf der Grundlage ihrer klinischen und pathologischen Beschreibung (204, 207);
- (b) die Erweiterung des Kapitels XIX "Verletzungen, Vergiftungen und bestimmte andere Folgen äußerer Ursachen" (T66-T78) durch das Hinzufügen/Unterscheiden von Wirkungen bezüglich EMF (statische magnetische Felder, statische elektrische Felder, ELF Magnetfelder, VLF elektrische Felder, VLF Magnetfelder, VLF elektrische Felder, hochfrequente Strahlung (HF)), Infrarotstrahlung, sichtbares Licht, UV-Strahlung und ionisierende Strahlung;
- (c) die Erweiterung des Kapitels XXI "Faktoren, die den Gesundheitszustand beeinflussen und zur

Inanspruchnahme des Gesundheitswesens" (Z00-Z99) durch das Hinzufügen/Unterscheiden von Wirkungen bezüglich EMF (statische magnetische Felder, statische elektrische Felder, ELF Magnetfelder, VLF elektrische Felder, VLF Magnetfelder, VLF elektrische Felder, hochfrequente Strahlung (HF)), Infrarotstrahlung, sichtbares Licht, UV-Strahlung und ionisierende Strahlung.

### **Behandlung des Patienten einschließlich der Umwelt**

Die primäre Therapie sollte sich vor allem auf die Vermeidung oder die Reduzierung der EMF-Expositionen konzentrieren. Dabei sollten alle EMF-Expositionen zu Hause und am Arbeitsplatz reduziert oder entfernt werden. Die Reduzierung der EMF-Expositionen sollte auch auf Schulen, Krankenhäuser, öffentliche Verkehrsmittel und öffentliche Orte wie z.B. Bibliotheken, etc. ausgedehnt werden, damit sie von Personen mit EHS ungehindert genutzt werden können (Barrierefreiheit). Es gibt viele Beispiele, die zeigen, dass sich solche Maßnahmen bewährten. Im Hinblick auf die Gesamtbelastung des Körpers durch andere Umwelteinflüsse müssen auch diese berücksichtigt werden.

Neben der Reduktion von EMF-Einflüssen können und müssen auch andere Maßnahmen in Erwägung gezogen werden. Dazu gehört eine ausgeglichene Homöostase, um die „Widerstandskräfte“ gegenüber EMF-Belastungen zu stärken. Es gibt zunehmend Hinweise dafür, dass ein wichtiger Effekt von elektromagnetischen Feldern beim Menschen darin besteht, dass die oxidative und nitrosative Regulationsfähigkeit eingeschränkt wird. Dieser Ansatz bietet auch eine Erklärung für die Beobachtung, dass sich der Grad der Empfindlichkeit gegenüber EMF verändern kann, und für die Vielzahl der Symptome, die im Zusammenhang mit EMF-Expositionen beschrieben worden sind. Aus gegenwärtiger Sicht erscheint ein Behandlungsansatz empfehlenswert, der bei anderen Multisystemerkrankungen zunehmend praktiziert wird und zum Ziel hat, die schädigende Wirkung von Peroxynitrit zu minimieren. Maßnahmen, die das Immunsystem stärken und Stress reduzieren, fördern in Kombination mit Entgiftungsmaßnahmen die Genesung von EHS.

Es soll hier betont werden, dass Psychotherapie genau denselben Stellenwert wie bei anderen Krankheiten einnimmt. Produkte wie Aufkleber, Chips und Ähnliches, die mit der Behauptung angeboten werden, Elektrosmog zu „neutralisieren“ oder „harmonisieren“, sind mit äußerster Zurückhaltung zu beurteilen. Psychologischer Stress, der durch ein Mangel an Verständnis und Unterstützung seitens der Familie, Freunde und Ärzte ausgelöst wird, kann die Symptome von EHS verstärken, wie auch die Besorgnis bezüglich der EMF-Expositionen. Für eine schnelle Genesung ist es wichtig, dass die Behandlung den Körper, den Geist und die Seele der Betroffenen mit einbezieht.

Zusammenfassend erscheinen unter Berücksichtigung der individuellen Lage des Einzelnen folgende therapeutischen Maßnahmen zielführend:

#### **Reduktion der EMF-Exposition**

Alle EMF-Expositionen, die für die Situation der Betroffenen relevant sind, sollen reduziert werden, und ganz besonders am Schlafplatz und am Arbeitsplatz - siehe Kapitel "Reduktion der EMF-Exposition". Für weiterführende Informationen siehe z.B.: „Options to Minimize EMF/RF/Static Field Exposures in Office Environments“ (268) und „Elektrosmog im Alltag“ (269).

#### **Umweltmedizinische Therapieansätze**

Bisher gibt es keine spezielle Therapie für EHS. Die Empfehlungen in den folgenden Abschnitten basieren auf der gemeinsamen Erfahrung des Autorenteam. Sie können entweder als Empfehlungen verstanden werden, die volle Regulationsfähigkeit der Patienten wieder herzustellen, als allgemeine Ratschläge für eine gesunde Lebensweise (die der kulturellen und individuellen Situation eines Patienten angepasst werden könnten und sollten) oder als eine gezieltere Vorgehensweise, basierend auf der Erfahrung des Autorenteam, die spezifischen Probleme von Personen mit EHS anzugehen.

Um Maßnahmen für die optimale Behandlung und einen barrierefreien Zugang zu beurteilen, müssten kontrollierte klinische Studien durchgeführt werden. Verfügbare Daten deuten darauf hin, dass die funktionellen Defizite, die bei Patienten mit EHS auftreten, denen gleichen, die bei Patienten mit CMI

wie MCS, CFS und FM auftreten. Das Ziel der Therapie ist die Regulation der physiologischen Funktionsstörungen, die durch diagnostische Untersuchungen identifiziert werden (siehe Kapitel "Medizinische Untersuchungen und Befunde"). Das schließt sowohl allgemeine als auch unterstützende Verfahren und spezifische Behandlungen mit ein. Die spezifischen Behandlungen können eine Herausforderung darstellen und sollten nur unter der Aufsicht eines klinisch erfahrenen Umweltmediziners mit den entsprechenden Fachkenntnissen und der nötigen Erfahrung durchgeführt werden. Wichtige Therapieziele beinhalten:

– **Kontrolle der Gesamtbelastung des Körpers**

Neben der Reduktion von EMF-Expositionen ist auch die Reduktion der Gesamtbelastung des Körpers gegenüber verschiedenen Umweltschadstoffen (zu Hause, am Arbeitsplatz, in der Schule, Hobby), Lebensmittelzusätzen und Zahnmaterialien angezeigt.

– **Reduktion des oxidativen und/oder nitrosativen Stresses**

Reaktive Sauerstoffspezies (ROS) und reaktive Stickstoffspezies (RNS) sind freie Radikale, die natürlicherweise in der Zelle produziert werden. Radikalfänger stellen das Gleichgewicht zwischen der Produktion freier Radikale und deren Neutralisierung sicher. Viele biologisch wichtige Verbindungen mit antioxidativer (AO) Funktion wurden als endogene und exogene Radikalfänger identifiziert. Bei den endogenen AO unterscheiden wir zwischen enzymatischen AO (Katalase, Glutathionperoxidase, Glutathionreduktase, Superoxiddismutase) und nicht enzymatischen AO (Bilirubin, Ferritin, Melatonin, Glutathion, Metallothionin, N-Acetylcystein, (NAC), NADH, NADPH, Thioredoxin, 1,4,-Benzochinon, Ubichinon, Harnsäure). Sie reagieren mit exogenen AO aus der Nahrung oder synthetischen Ursprungs (Carotinoide, Retinoide, Flavonoide, Polyphenole, Glutathion, Ascorbinsäure, Tocopherole). Die komplexe Regulation und die Anwendung dieser Stoffe ist therapeutisch eine Herausforderung (232, 273).

– **Regulation der intestinalen Funktionsstörungen**

Endogene und exogene Radikalfänger wirken synergetisch zusammen, um die Redox-Homöostase aufrechtzuerhalten. Daher spielen Antioxidantien aus der Nahrung oder anderen natürlichen Quellen eine wichtige Rolle, um diese Reaktionen zu stabilisieren.

Die Behandlung des Leaky-Gut-Syndroms, Lebensmittelunverträglichkeiten und Lebensmittelallergien erfordert Fachkenntnisse und Erfahrung und sind eine Voraussetzung, die Redox-Homöostase (274) aufrechterhalten zu können.

– **Optimierung der Ernährung**

Bioaktive Lebensmittel sind die Hauptquelle für Antioxidantien wie z.B. Vitamin C, Vitamin E, NAC, Carotinoide, CoQ10, Alpha-Liponsäure, Lycopin, Selen und Flavonoide (275, 276). Vitamin E zum Beispiel muss durch Glutathion oder Vitamin C regeneriert werden, um eine Lipidperoxidation abzuwenden. Die Antioxidantien aus der Nahrung können nur dann positive Wirkungen für das Redox-System entfalten, wenn sie in ausreichenden Konzentrationen vorhanden sind (273). Alpha-Liponsäure fungiert als direkter und indirekter Radikalfänger, einschließlich Peroxynitrit, Singulett-Sauerstoff, Superoxid, Peroxyl-Radikale und Abbauprodukte des Peroxynitrit (232). Es wurde gezeigt, dass die Anzahl der freien Elektronen in Mikronährstoffen bestimmt, wie wirksam sie sind. In biologisch angebauten Lebensmitteln ist die Anzahl der freien Elektronen höher als in konventionell produzierten Lebensmitteln (277). Insbesondere bei Lebensmittelunverträglichkeiten ist es notwendig, Mikronährstoffen in Form von Nahrungsergänzungspräparaten zu substituieren.

– **Kontrolle der (schleichenden) Entzündung**

Ein erhöhter Stickstoffmonoxid-Spiegel führt durch die Reaktionen mit Superoxid-Radikale immer zu einem erhöhten Peroxynitrit-Spiegel, der wiederum den ROS-Spiegel in einem Maße erhöht wie kein anderer Stoff (NO/ONOO<sup>-</sup>-Zyklus). Daraufhin wird der Nuklearfaktor  $\kappa$ B (NF- $\kappa$ B) aktiviert, der wiederum inflammatorische Zytokine wie z.B. Tumornekrosefaktor  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), Interleukin-1 $\beta$  (IL-

1 $\beta$ ), Interleukin-6 (IL-6), Interleukin-8 (IL-8) und Interferon-gamma (IFN- $\gamma$ ) sowie verschiedene NO-Synthasen aktiviert (232). Es wurde gezeigt, dass Tocopherole (278, 279), Carotinoide in niedrigen Konzentrationen (280), Vitamin C (281, 282), NAC (283), Curcumin (284), Resveratrol (285, 286) und Flavonoide (287) diese Entzündungskaskade an verschiedenen Punkten unterbrechen.

#### – **Normalisierung der Funktionsweise der Mitochondrien**

Die Funktion der Mitochondrien kann auf zwei Arten gestört sein. Erstens: Der hohe Spiegel an freien Radikalen kann die Produktion von Adenosintriphosphat (ATP) blockieren, was zu Muskelschmerzen und Erschöpfung führt. Zweitens: Im Fall einer schleichenden Entzündung ist der Energiebedarf um 25 % erhöht (236), was zu einem hohen Verbrauch an ATP führt. In diesem Fall sind NADH, L-Carnitin und Q-10 lebenswichtig für die ATP-Synthese.

Aufgrund des ATP-Mangels ist die Regulation der Katecholamine, insbesondere des Noradrenalins, reduziert, denn der Katabolismus von Noradrenalin durch S-Adenosylmethionin benötigt ATP (288-290). Außerdem werden zur Stressregulation große Mengen an Folsäure, Vitamin B6 und Methylcobalamin benötigt. Genetische Polymorphismen von COMT und MTHFR beeinflussen den individuellen Bedarf an diesen Stoffen (244, 291).

#### – **Entgiftung**

Die im Menschen angereicherten Umweltgifte bilden ein individuelles Belastungsprofil aus verschiedenen organischen und anorganischen Stoffen, aus denen sich die Gesamtbelastung des Körpers zusammensetzt (292).

Bei den anorganischen Stoffen spielen die Metalle und ihre Salze eine dominante Rolle und können bei Patienten mit EHS von besonderer Bedeutung sein. Elementares Quecksilber (Hg<sup>0</sup>) und andere Schwermetalle wie z.B. Blei (Pb) reichern sich im Gehirn an (293), insbesondere bei chronischer Niedrigdosisexposition. Sie können toxische Wirkungen ausüben und verschiedene Immunreaktionen hervorrufen (294, 295). Auch wenn es generell keine spezifischen aktiven Stoffe gibt, mit denen Chemikalien entgiftet werden können, gibt es zwei Stoffgruppen mit einem spezifischeren Wirkprofil, die für die Entgiftung von Metallen eingesetzt werden können.

1. Stoffe mit nicht spezifischer physiologischer Wirkung: Glutathion, NAC, Alpha-Liponsäure, Vitamin C und Selen.
2. Chelatbildner für die Metallentgiftung (296-298): Die wichtigsten Chelatbildner sind Natriumthiosulfat 10 % DMPS (2,3 Dimercapto-1-Propansulfonsäure), DMSA (Meso-Dimercaptobernsteinsäure), EDTA (Ethylendiamintetraessigsäure).

Es soll hier darauf hingewiesen werden, dass diese Stoffe nur von Therapeuten eingesetzt werden sollten, die dafür ausgebildet sind.

#### – **Unterstützende Therapien**

##### **1. Trinkwasser**

Für den Entgiftungsprozess wird eine höhere Zufuhr von qualitativ hoch stehendem Wasser benötigt, wobei der Mineralgehalt des Wassers niedrig sein und das Wasser kein CO<sub>2</sub> enthalten sollte. Die tägliche Wasserzufuhr sollte sich auf 2,5 bis 3,0 l belaufen.

##### **2. Licht**

Die meisten Menschen in Mittel- und Nordeuropa haben einen zu niedrigen Vitamin-D-Spiegel. Eine ausreichende Tageslichtzufuhr während der Vitamin-D-produzierenden Monate (Frühling bis Herbst) ist ein wichtiger Faktor. Gleichzeitig muss bei Sonnenexposition darauf geachtet werden, aktinische Hautschäden zu vermeiden. Über das natürliche Sonnenlicht hinaus können Lichttherapie und Low-Level-Lasertherapie die Heilung fördern, Entzündung reduzieren, die Zirkulation anregen und die Produktion von zellulärem ATP steigern.

### **3. Sauna**

Sauna und therapeutische Hyperthermie ist eine unterstützende Therapie für die Entgiftung fast aller Xenobiotika. Diese Therapien müssen sorgfältig angewendet werden. Es findet eine Wechselwirkung mit entgiftenden Stoffen statt. Saunaanwendungen helfen Tetrahydrobiopterin aus Dihydrobiopterin zu regenerieren, was für den Stoffwechsel von Katecholaminen und Serotonin essentiell ist (299). Bei Saunas gibt es allerdings Unterschiede. Traditionelle Saunas oder Infrarotwärmekabinen mit geringen elektrischen und magnetischen Feldern, bei denen weder giftige Leime noch chemisch behandeltes Holz zur Anwendung kommen, können empfohlen werden.

### **4. Sauerstoff**

Ein Teil der Patienten mit EHS leidet an mitochondrialen Funktionsstörungen. Ausreichend natürlicher Sauerstoff ist hilfreich. Da sowohl Sauerstoffmangel als auch hyperbarer Sauerstoff oxidativen Stress verursachen können, sollten Patienten, die sich einer hyperbaren Sauerstofftherapie unterziehen, gleichzeitig mit ausreichenden Mengen von Antioxidantien versorgt werden.

### **5. Körperliche Bewegung**

Über die optimale Menge an körperlicher Bewegung wird immer noch debattiert. Der körperliche Zustand eines Patienten sollte ergometrisch bestimmt werden, um ein individuelles Bewegungsprogramm verschreiben zu können. Praktische Erfahrungen aus der Umweltmedizin haben gezeigt, dass kranke Menschen nur aerobe Übungen mit Low-Impact-Bewegungen machen sollten. Beginnen Sie grundsätzlich mit einer Belastungsstufe von 20 bis 30 Watt, um die Übung dann oftmals bei 60 bis 70 Watt zu beenden. Ein Ergometer bietet dem Nutzer im Vergleich zum Gehen oder Laufen eine größere Kontrolle über den Energieverbrauch. Körperliche Bewegung sollte nicht zur Erschöpfung führen oder wenigsten erst nach einer halben Stunde.

### **6. Schlaf**

Patienten mit EHS leiden sehr häufig an Schlafstörungen. Und Schlafstörungen stehen mit einem niedrigen Melatoninspiegel im Zusammenhang. Im Fall von chronischen Entzündungen senkt Indolamin-2,3-Dioxygenase (IDO) die Serotoninproduktion und damit auch den Melatoninspiegel. EMF-Expositionen können parasympathische Aktivitäten blockieren, während sympathische Aktivitäten fortbestehen. Bei Schlafstörungen muss jede Therapie den pathologischen Ursachen nachgehen. Optimaler Schlaf ist notwendig, um Energie zu sparen und Funktionen des Immunsystems und neuroendokrinen Systems zu regulieren.

### **7. Schutz vor blauem Licht**

Wellenlängen des sichtbaren Lichtes unterhalb von 500 nm werden als „blaues Licht“ bezeichnet. Kleine Mengen an blauem Licht können das Wohlbefinden heben, aber größere Mengen können für die Augen schädlich sein. Im natürlichen Tageslicht werden die schädlichen Effekte des „blauen Lichts“ durch die regenerative Wirkung des roten und infraroten Lichts ausgeglichen. Durch die rasant steigende Nutzung von elektronischen Lichtquellen, wie z.B. Leuchtstoffröhren und Kompaktleuchtstofflampen, Computerbildschirmen, Laptops, Tablets, Smartphones und einigen LED-Lampen, ist unsere Exposition gegenüber „blauem Licht“ so stark angestiegen, dass diese Exposition im Verdacht steht bei der Entwicklung von bestimmten Krankheiten eine Rolle zu spielen, z.B. bei altersbedingter Makuladegeneration und Störungen des zirkadianen Rhythmus durch die Unterdrückung des Melatonins, das wiederum mit Schlafstörungen, Fettleibigkeit, Diabetes mellitus, Depression, Herzinfarkt, Schlaganfall und Krebs im Zusammenhang steht. Daher sollte man sich am Abend künstlichem "blauen Licht" nicht zu lange aussetzen. Antioxidantien, insbesondere Melatonin (300, 301), und Bildschirmfilter für blaues Licht (302-304) können hilfreich sein.



## **8. Exposition gegenüber den natürlichen elektromagnetischen Feldern der Erde**

Die meisten Menschen, die in Stadtregionen leben, haben den Kontakt zu dem natürlichen Magnetfeld der Erde verloren, da sie Schuhe mit Gummisohlen und synthetische Kleidung tragen, in Metallkisten mit Gummireifen umherfahren und in Betongebäuden arbeiten, die von künstlichen elektromagnetischen Feldern und Strahlungen durchdrungen werden. Wenn man Zeit im Wald verbringt, barfuß am Strand entlang läuft, im Gras liegt oder nach einem Regen draußen spazieren geht, dann hilft das, sich zu erden und die oft überschüssigen positiven Ionen, die mit Gesundheitsbeschwerden in Zusammenhang stehen, abzubauen und wieder ein Gleichgewicht herzustellen.

### **Zahnmedizin**

In der Zahnmedizin wird immer noch mit toxischen und immunreaktiven Materialien wie z.B. Quecksilber, Bleioxid, Gold und Titan gearbeitet. Umweltzahnmediziner fordern, dass diese toxischen Materialien nicht mehr benutzt werden (305-308). Bei der Entfernung toxischer Dentalwerkstoffe müssen größtmögliche Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden (Einatmen vermeiden!). Unter Umständen ist die Ausleitung von bestimmten Schwermetallen angezeigt. Generell sollten prothetische Materialien chemisch inert sein und keine Immunreaktion hervorrufen. Aufgrund unseres heutigen Wissens scheint Zirkonoxid ein neutrales Material zu sein. Jedoch sollte der Zahnarzt vermeiden, die versiegelte Oberfläche mechanisch abzuschleifen.

Immunotoxische Metalle zeigen eine ähnliche Pathophysiologie im Hinblick auf oxidativen Stress, Mitochondriopathie und Entzündungen.

### **Lebensstilberatung**

Eine Lebensstilberatung kann folgende Elemente enthalten: ausgeglichenes Bewegungsprogramm, Ernährung, Reduktion der Suchtmittel, Änderung der Schlafgewohnheiten, etc. und Maßnahmen zur Stressreduktion (Reduktion von allgemeinem und beruflichem Stress) sowie Methoden Stressresistenz aufzubauen z.B. durch autogenes Training, Yoga, progressive Muskelentspannung, Atemübungen, Meditation, Tai Chi und Qigong.

### **Symptomatische Therapie**

Eine ausgewogene Therapie der Symptome ist so lange gerechtfertigt, bis die Ursachen identifiziert und beseitigt sind. Es ist jedoch von größter Bedeutung, sich darüber im Klaren zu sein, dass eine Reduzierung der Symptome auch ein erhöhtes Risiko gegenüber EMF-Expositionen für die betroffenen Personen bedeuten kann, so dass es in Zukunft zu Langzeitwirkungen einschließlich neurologischen Schäden und Krebs kommen kann. Der behandelnde Arzt steht vor der sehr schwierigen ethischen Aufgabe, dass wenn er die Symptome behandelt, den betroffenen Patienten auch über die damit verbundenen Risiken – in einer ausgewogenen Art und Weise – entsprechend aufklärt. Aus ethischen Gründen ist es natürlich eine gute Ausgangsbasis, erst einmal die Symptome zu behandeln, um sofortige Linderung zu verschaffen, aber ohne die gleichzeitige Reduzierung der Umweltbelastungen und Lebensstilberatung kann sich das über die Länge der Zeit auch ins Gegenteil verkehren. Für konventionell ausgebildete Ärzte mag diese Art der Überlegung sehr neu anmuten, aber das ist die einzige Art, wie Symptome erfolgreich und effektiv gelindert werden können und wie bei der Behandlung von chronischen Multisystemerkrankungen (CMI) und EHS eine klinisch nachvollziehbare vollständige Genesung erreicht werden kann. Auch wenn die Ursachen zu Beginn nicht bekannt sind, ist es bereits zu diesem Zeitpunkt wichtig, Empfehlungen auszusprechen, wie man seine Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern und anderen umweltbedingten Stressfaktoren reduzieren kann, um weiteren Schaden abzuwenden und die Heilung zu fördern.

## Literatur

1. Hanninen O, Knol AB, Jantunen M, Lim TA, Conrad A, et al. Environmental burden of disease in Europe: assessing nine risk factors in six countries. *Environ Health Perspect* 2014;122(5):439–46.
2. Bundespsychotherapeutenkammer. BPTK-Studie zur Arbeitsunfähigkeit – Psychische Erkrankungen und Burnout [Internet]. Berlin (DE): Bundespsychotherapeutenkammer, 2012:29. Report 2012. Online unter: [http://www.bptk.de/uploads/media/20120606\\_AU-Studie-2012.pdf](http://www.bptk.de/uploads/media/20120606_AU-Studie-2012.pdf).
3. Bundespsychotherapeutenkammer. BPTK-Studie zur Arbeits- und Erwerbsunfähigkeit – Psychische Erkrankungen und gesundheitsbedingte Frühverrentung [Internet]. Berlin (DE): Bundespsychotherapeutenkammer, 2013:66. Report 2013. Online unter: [http://www.bptk.de/uploads/media/20140128\\_BPTK-Studie\\_zur\\_Arbeits-und\\_Erwerbsunfaehigkeit\\_2013\\_1.pdf](http://www.bptk.de/uploads/media/20140128_BPTK-Studie_zur_Arbeits-und_Erwerbsunfaehigkeit_2013_1.pdf).
4. Fritze J. Psychopharmaka-Verordnungen: Ergebnisse und Kommentare zum Arzneiverordnungsreport 2011. *Psychopharmakotherapie* 2011;18:245–56.
5. Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte. Erstmals seit 20 Jahren kein Anstieg beim Methylphenidat-Verbrauch [Internet]. Bonn (DE): Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte, 1. April 2014. Pressemitteilung Nummer 05/14; Online unter: <https://www.bfarm.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/mitteil2014/pm05-2014.html>.
6. Badura B, Ducki A, Schroder H, Klose J, Meyer M, Hrsg. Fehlzeiten-Report 2012. Berlin, Heidelberg (DE): Springer Verlag, 2012:528 ff.
7. OECD. Health at a Glance 2013: OECD Indicators [Internet]. Paris (FR): OECD Publishing, 2013:212. DOI: 10.1787/health\_glance-2013-en. Online unter: [http://dx.doi.org/10.1787/health\\_glance-2013-en](http://dx.doi.org/10.1787/health_glance-2013-en).
8. Pawankar R, Canonica GW, Holgate ST, Lockey RF, Hrsg. WAO White Book on Allergy 2011–2012 [Internet]. Milwaukee, WI (US): World Allergy Organization, 2013:228. Online unter: <http://www.worldallergy.org/UserFiles/file/WAO-White-Book-on-Allergy.pdf>.
9. BioInitiative Working Group, Sage C, Carpenter DO, Hrsg. BioInitiative Report: A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF) at [www.bioinitiative.org](http://www.bioinitiative.org), 31. August 2007.
10. BioInitiative Working Group, Sage C, Carpenter DO, Hrsg. BioInitiative Report: A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Radiation at [www.bioinitiative.org](http://www.bioinitiative.org), 31. Dezember 2012.
11. Levitt B, Lai H. Biological effects from exposure to electromagnetic radiation emitted by cell tower base stations and other antenna arrays. *Environ Rev* 2010;18:369–95.
12. Pall ML. Scientific evidence contradicts findings and assumptions of Canadian safety panel 6: microwaves act through voltage-gated calcium channel activation to induce biological impacts at non-thermal levels, supporting a paradigm shift for microwave/lower frequency electromagnetic field action. *Rev Environ Health* 2015;30(2):99–116.
13. Binhi VN. Magnetobiology: Underlying Physical Problems. San Diego: Academic Press, 2002:1–473.
14. Binhi VN. Prinzipien der elektromagnetischen Biophysik (auf Russisch). Moskau (RU): Fizmatlit, 2011:1–571.
15. Georgiou CD. Oxidative stress-induced biological damage by low-level EMFs: mechanism of free radical pair electron spin-polarization and biochemical amplification. In: Giuliani L, Soffritti M, Hrsg. Non-thermal effects and mechanisms of interaction between electromagnetic fields and living matter. Bologna (IT): Ramazzini Institute, 2010. *European Journal of Oncology – Library Bd. 5*. S. 63–113. Online unter: <http://www.icems.eu/papers.htm?f=/c/a/2009/12/15/MNHJ1B49KH.DTL>.
16. Pall ML. Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. *J Cell Mol Med* 2013;17(8):958–65.
17. Blank M, Goodman R. Electromagnetic fields stress living cells. *Pathophysiology* 2009;16(2–3):71–8.
18. Blackman C. Cell phone radiation: evidence from ELF and RF studies supporting more inclusive risk identification and assessment. *Pathophysiology* 2009;16(2–3):205–16.
19. Hedendahl L, Carlberg M, Hardell L. Electromagnetic hypersensitivity – an increasing challenge to the medical profession. *Rev Environ Health* 2015;30(4):209–15.
20. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 1998;74(4):494–522.
21. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Phys* 2010;99(6):818–36.
22. Belyaev I. Biophysical mechanisms for nonthermal microwave effects. In: Markov M, Hrsg. *Electromagnetic fields in biology and medicine*. Boca Raton, London, New York: CRC Press 2015:49–68.
23. Belyaev I. Electromagnetic field effects on cells and cancer risks from mobile communication. In: Rosch PJ, Hrsg. *Bioelectromagnetic and subtle energy medicine*, 2. Ausg. Boca Raton, London, New York: CRC Press 2015:517–39.
24. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer (IARC), 2013:480. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Bd. 102. Online unter: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol102/>.
25. Vecchia P. ICNIRP and international standards. London (GB): Conference EMF and Health, 2008:28. Online unter: [http://archive.radiationresearch.org/conference/downloads/021145\\_vecchia.pdf](http://archive.radiationresearch.org/conference/downloads/021145_vecchia.pdf).
26. Panagopoulos DJ, Johansson O, Carlo GL. Evaluation of specific absorption rate as a dosimetric quantity for electromagnetic

- fields bioeffects. *PLoS One* 2013;8(6):e62663.
27. Belyaev I. Dependence of non-thermal biological effects of microwaves on physical and biological variables: implications for reproducibility and safety standards [Internet]. In: Giuliani L, Soffritti M, Hrsg. Non-thermal effects and mechanisms of interaction between electromagnetic fields and living matter. Bologna (IT): Ramazzini Institute, 2010. *European Journal of Oncology – Library Bd. 5*. S. 187–218. Online unter: <http://www.icems.eu/papers.htm?f=/c/a/2009/12/15/MNHJ1B49KH.DTL>.
  28. Grigoriev YG, Stepanov VS, Nikitina VN, Rubtcova NB, Shafirkin AV, et al. *ISTC Report. Biological effects of radiofrequency electromagnetic fields and the radiation guidelines. Results of experiments performed in Russia/Soviet Union*. Moscow (RU): Institute of Biophysics, Ministry of Health, Russian Federation, 2003.
  29. SanPiN 2.2.4/2.1.8. Radiofrequency electromagnetic radiation (RF EMR) under occupational and living conditions. Moscow (RU): Minzdrav. [2.2.4/2.1.8.055-96] 1996.
  30. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer (IARC), 2002:445. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Bd. 80. Online unter: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol80/>.
  31. Oberfeld G. Precaution in Action – Global Public Health Advice Following BioInitiative 2007. In Sage C, Carpenter DO, Hrsg. *BioInitiative Report 2012: A Rationale for a Biologically based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF)*, 2012. Online unter: <http://www.bioinitiative.org>.
  32. International Commission for electromagnetic safety (ICEMS), Resolutions. Online unter: <http://www.icems.eu/resolution.htm>.
  33. Radiofrequency electromagnetic radiation and the health of Canadians. Report of the Standing Committee on Health, JUNE 2015, Parliament of Canada, Ottawa, Ontario. Online unter: <http://www.parl.gc.ca/content/hoc/Committee/412/HESA/Reports/RP8041315/hesarp13/hesarp13-e.pdf>.
  34. Havas M. International Expert’s Perspective on the Health Effects of Electromagnetic Fields (EMF) and Electromagnetic Radiation (EMR) [Internet]. Peterborough, ON, (CD): 11. Juni 2011 (updated Juli 2014). Online unter: <http://www.magdahavas.com/international-experts-perspective-on-the-health-effects-of-electromagnetic-fields-emf-and-electromagnetic-radiation-emr/>.
  35. European Environmental Agency. Radiation risk from everyday devices assessed [Internet]. Copenhagen (DK): 17. September 2007. Online unter: <http://www.eea.europa.eu/highlights/radiation-risk-from-everyday-devices-assessed>.
  36. European Environmental Agency. Health risks from mobile phone radiation – why the experts disagree [Internet]. Copenhagen (DK): 12. Oktober 2011. Online unter: <http://www.eea.europa.eu/highlights/health-risks-from-mobile-phone>.
  37. European Environmental Agency. Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation [Internet]. Copenhagen (DK): 23. Januar 2013. EEA Report Nr. 1/2013. Online unter: <http://www.eea.europa.eu/publications/late-lessons-2>.
  38. EU Parliament. Report on health concerns associated with electromagnetic fields. Brussels (BE): Committee on the Environment, Public Health and Food Safety of the European Parliament. Rapporteur: Frederique Ries (2008/2211(INI) [Internet]. Online unter: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+REPORT+A6-2009-0089+0+DOC+PDF+V0//EN>.
  39. EU Parliament. European Parliament resolution of 2 April 2009 on health concerns associated with electromagnetic fields [Internet]. Brussels (BE): European Parliament, 2. April 2009. Available at: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P6-TA-2009-0216+0+DOC+XML+V0//EN>.
  40. Fragopoulou A, Grigoriev Y, Johansson O, Margaritis LH, Morgan L, et al. Scientific panel on electromagnetic field health risks: consensus points, recommendations, and rationales. *Environ Health* 2010;25(4):307-17.
  41. Gesichtspunkte zur aktuellen gesundheitlichen Bewertung des Mobilfunks. Empfehlung des Obersten Sanitätsrates. Ausgabe 05/14; Bundesministerium für Gesundheit. Wien (AT). Online unter: [http://www.bmg.gv.at/cms/home/attachments/1/9/2/CH1238/CMS1202111739767/mobilfunk\\_osr\\_empfehlungen.pdf](http://www.bmg.gv.at/cms/home/attachments/1/9/2/CH1238/CMS1202111739767/mobilfunk_osr_empfehlungen.pdf).
  42. Council of Europe – Parliamentary Assembly. The potential dangers of electromagnetic fields and their effect on the environment. Resolution, Doc. 1815, Text adopted by the Standing Committee, acting on behalf of the Assembly, on 27 May 2011 [Internet]. Online unter: <http://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/Xref-XML2HTML-en.asp?fileid=17994&lang=en>.
  43. Dean AL, Rea WJ. American Academy of Environmental Medicine Recommendations Regarding Electromagnetic and Radiofrequency Exposure [Internet]. Wichita, KS (US): Executive Committee of the American Academy of Environmental Medicine, 12. Juli 2012. Online unter: <https://www.aeemonline.org/pdf/AAEMEMFmedicalconditions.pdf>.
  44. Federal Public Service (FPS) Health, Food Chain Safety and Environment. Mobile phones and children-New regulation for the sale of mobile phones as of 2014 [Internet]. Brüssel (BE): Federal Public Service (FPS) Health, Food Chain Safety and Environment, 12. Januar 2016. Online unter: <http://www.health.belgium.be/en/mobile-phones-and-children>.
  45. Assemblée Nationale. PROPOSITION DE LOI relative a la sobriete, a la transparence, a l’information et a la concertation en matiere d’exposition aux ondes electromagnetiques. Paris (FR): Assemblée Nationale, France, 29.

- Januar 2015. Online unter: <http://www.assemblee-nationale.fr/14/pdf/ta/ta0468.pdf>.
46. Blank M, Havas M, Kelley E, Lai H, Moskowitz JM. International EMF Scientist Appeal [Internet]. 11. Mai 2015. Online unter: <https://www.emfscientist.org/index.php/emf-scientist-appeal>.
  47. International Scientific Declaration on Electromagnetic Hypersensitivity and Multiple Chemical Sensitivity. Following the 5th Paris Appeal Congress that took place on the 18th of May, 2015 at the Royal Academy of Medicine, Brussels, Belgium. Online unter: <http://appel-de-paris.com/wp-content/uploads/2015/09/Statement-EN.pdf>.
  48. Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Pathophysiology* 1979;109(23):273-84.
  49. Robinette CD, Silverman C, Jablon S. Effects upon health of occupational exposure to microwave radiation (radar). *Am J Epidemiol* 1980;112:39–53.
  50. Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, et al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer* 2000;83(5):692–8.
  51. Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Childhood Leukemia-EMF Study Group. Epidemiology* 2000;11(6):624–34.
  52. Kheifets L, Ahlbom A, Crespi CM, Draper G, Hagihara J, et al. Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer* 2010;103(7):1128-35.
  53. Zhao L, Liu X, Wang C, Yan K, Lin X, et al. Magnetic fields exposure and childhood leukemia risk: a meta-analysis based on 11,699 cases and 13,194 controls. *Leuk Res* 2014;38(3):269–74.
  54. Zhao L, Liu X, Wang C, Yan K, Lin X, et al. Case-only study of interactions between DNA repair genes and low-frequency electromagnetic fields in childhood acute leukemia. *Leuk Lymphoma* 2008;29(12):2344.
  55. Kundi M. Evidence for childhood cancers (Leukemia). In: Sage C, Carpenter DO, Hrsg. *The BioInitiative Report 2012. A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF)*, 2012, <http://www.bioinitiative.org/>.
  56. Sage C. Summary for the public. In: Sage C, Carpenter DO, Hrsg. *The BioInitiative Report 2012. A Rationale for a Biologically based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF)*, 2012. Online unter: <http://www.bioinitiative.org>.
  57. Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A, Hansson Mild K. Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: a case- control study. *Int J Oncol* 1999;15(1):113–6.
  58. Coureau G, Bouvier G, Lebailly P, Fabbro-Peray P, Gruber A, et al. Mobile phone use and brain tumours in the CERENAT case-control study. *Occup Environ Med* 2014;71(7):514–22.
  59. Hardell L, Carlberg M, Soderqvist F, Mild KH. Case-control study of the association between malignant brain tumours diagnosed between 2007 and 2009 and mobile and cordless phone use. *Int J Oncol* 2013;43(6):1833-45.
  60. Hardell L, Carlberg M, Soderqvist F, Mild KH. Pooled analysis of case-control studies on acoustic neuroma diagnosed 1997– 2003 and 2007–2009 and use of mobile and cordless phones. *Int J Oncol* 2013;43(4):1036-44.
  61. Hardell L, Carlberg M. Using the Hill viewpoints from 1965 for evaluating strengths of evidence of the risk for brain tumors associated with use of mobile and cordless phones. *Rev Environ Health* 2013;30(28):97-106.
  62. Carlberg M, Hardell L. Decreased survival of glioma patients with astrocytoma grade IV (glioblastoma multiforme) associated with long-term use of mobile and cordless phones. *Int J Environ Res Public Health* 2014;11(10):10790–805.
  63. Hardell L, Carlberg M. Mobile phone and cordless phone use and the risk for glioma – Analysis of pooled case-control studies in Sweden, 1997–2003 and 2007–2009. *Pathophysiology* 2015;22(1):1-13.
  64. West JG, Kapoor NS, Liao SY, Chen JW, Bailey L, et al. Multifocal breast cancer in young women with prolonged contact between their breasts and their cellular phones. *Case Rep Med* 2013;2013:354682.
  65. Levis AG, Gennaro V, Garbisa S. Business bias as usual: the case of electromagnetic pollution. In: Elsner W, Frigato P, Ramazzotti P, Hrsg. *Social Costs Today. Institutional Economics and Contemporary Crises*. London and New York: Routledge (Taylor & Francis Group), 2012:225–68.
  66. Lai H. Genetic Effects of Non-Ionizing Electromagnetic Fields. In: *The BioInitiative Report 2012: A Rationale for a Biologically based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF)*. Sage C, Carpenter DO, Hrsg. <http://www.bioinitiative.org/>: 1-59.
  67. Huss A, Egger M, Hug K, Huwiler-Müntener K, Rösli M. Source of funding and results of studies of health effects of mobile phone use: systematic review of experimental studies. *Cien Saude Colet* 2008;13(3):1005–12.
  68. Apollonio F, Liberti M, Paffi A, Merla C, Marracino P, et al. Feasibility for microwaves energy to affect biological systems via nonthermal mechanisms: a systematic approach. *IEEE Trans Microw Theory Tech* 2013;61(5):2031–45.
  69. Cucurachi S, Tamis WL, Vijver MG, Peijnenburg WJ, Bolte JF, et al. A review of the ecological effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF). *Environ Int* 2013;51:116–40.
  70. Belyaev IY, Alipov YD, Harms-Ringdahl M. Effects of weak ELF on E-coli cells and human lymphocytes: role of genetic, physiological, and physical parameters. In: Bersani F, Hrsg. *Electricity and magnetism in biology and medicine*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publ, 1999:481–4.
  71. Belyaev IY, Alipov ED. Frequency-dependent effects of ELF magnetic field on chromatin conformation in *Escherichia coli*

- cells and human lymphocytes. *Biochim Biophys Acta* 2001;1526(3):269–76.
72. Sarimov R, Alipov ED, Belyaev IY. Fifty hertz magnetic fields individually affect chromatin conformation in human lymphocytes: dependence on amplitude, temperature, and initial chromatin state. *Pathophysiology* 2011;32(7):570-9.
  73. Belyaev IY, Hillert L, Protopopova M, Tamm C, Malmgren LO, et al. 915 MHz microwaves and 50 Hz magnetic field affect chromatin conformation and 53BP1 foci in human lymphocytes from hypersensitive and healthy persons. *Pathophysiology* 2005;26(3):173-84.
  74. Markovà E, Hillert L, Malmgren L, Persson BR, Belyaev IY. Microwaves from GSM Mobile Telephones Affect 53BP1 and gamma-H2AX Foci in Human Lymphocytes from Hypersensitive and Healthy Persons. *Environ Health Perspect* 2005;113(9):1172-7.
  75. Belyaev IY, Markovà E, Hillert L, Malmgren LO, Persson BR. Microwaves from UMTS/GSM mobile phones induce long-lasting inhibition of 53BP1/g-H2AX DNA repair foci in human lymphocytes. *Pathophysiology* 2009;30(2):129-41.
  76. Sarimov R, Malmgren LO, Markova E, Persson BR, Belyaev IY. Nonthermal GSM microwaves affect chromatin conformation in human lymphocytes similar to heat shock. *IEEE Trans Plasma Sci* 2004;32(4):1600–8.
  77. Markovà E, Malmgren LOG, Belyae IY. Microwaves from mobile phones inhibit 53BP1 focus formation in human stem cells more strongly than in differentiated cells: possible mechanistic link to cancer risk. *Environ Health Perspect* 2010;118(3):394-9.
  78. World Health Organization (WHO). Radiofrequency and microwaves. Environmental Health Criteria 16, Geneva (CH): WHO, 1981. Online unter: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc016.htm>.
  79. World Health Organization (WHO). Extremely low frequency (ELF) fields. Environmental Health Criteria 35, Geneva (CH): WHO, 1984. Online unter: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc016.htm>.
  80. Haynal A, Regli F. Zusammenhang der amyotrophischen Lateralsklerose mit gehäuften Elektrotraumata. *Confin Neurol* 1964;24:189–98.
  81. Şahin A, Aslan A, Baş O, İkinci A, Özyılmaz C, et al. Deleterious impacts of a 900-MHz electromagnetic field on hippocampal pyramidal neurons of 8-week-old Sprague Dawley male rats. *Brain Res* 2015;1624:232–8.
  82. Schliephake E. Arbeitsergebnisse auf dem Kurzwellengebiet. *Dtsch Med Wochenschr* 1932;58(32):1235–41.
  83. Sadchikova MN. State of the nervous system under the influence of UHF. In: Letavet AA, Gordon ZV, Hrsg. The biological action of ultrahigh frequencies. Moscow: Academy of Medical Sciences, 1960:25–9.
  84. Von Klitzing L. Low-frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG of man. *Phys Medica* 1995;11:77–80.
  85. Reiser H, Dimpfel W, Schober F. The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *Eur J Med Res* 1995;1(1):27–32.
  86. Röschke J, Mann K. No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 1997;18(2):172–6.
  87. Hietanen M, Kovala T, Hamalainen AM. Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. *Scand J Work Environ Health* 2000;26(2):87–92.
  88. Croft R, Chandler J, Burgess A, Barry R, Williams J, et al. Acute mobile phone operation affects neural function in humans. *Clin Neurophysiol* 2002;113(10):1623–32.
  89. Kramarenko AV, Tan U. Effects of high-frequency electromagnetic fields on human EEG: a brain mapping study. *Int J Neurosci* 2003;113(7):1007–19.
  90. Vecchio F, Babiloni C, Ferreri F, Curcio G, Fini R, et al. Mobile phone emission modulates interhemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms. *Eur J Neurosci* 2007;25(6):1908–13.
  91. Vecchio F, Babiloni C, Ferreri F, Buffo P, Cibelli G, et al. Mobile phone emission modulates inter-hemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms in elderly compared to young subjects. *Clin Neurophysiol* 2010;121(2):163-71.
  92. Vecchio F, Buffo P, Sergio S, Iacoviello D, Rossini PM, et al. Mobile phone emission modulates event-related desynchronization of  $\alpha$  rhythms and cognitive-motor performance in healthy humans. *Clin Neurophysiol* 2012;123(1):121-8.
  93. Perentos N, Croft RJ, McKenzie RJ, Cvetkovic D, Cosic I. The effect of GSM-like ELF radiation on the alpha band of the human resting EEG. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2008;1:5680–3.
  94. Trunk A, Stefanics G, Zentai N, Kovács-Bálint Z, Thuróczy G, et al. No effects of a single 3G UMTS mobile phone exposure on spontaneous EEG activity, ERP correlates, and automatic deviance detection. *Bioelectromagnetics* 2013;34(1):31–42.
  95. Ghosn R, Yahia-Cherif L, Hugueville L, Ducorps A, Lemarechal JD, et al. Radiofrequency signal affects alpha band in resting electroencephalogram. *J Neurophysiol* 2015;113(7):2753–9.
  96. Roggeveen S, van Os J, Viechtbauer W, Lousberg R. EEG changes due to experimentally induced 3G mobile phone radiation. *PLoS One* 2015;10(6):e62663.
  97. Freude G, Ullsperger P, Eggert S, Ruppe I. Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials. *Bioelectromagnetics* 1998;19(6):384-7.
  98. Freude G, Ullsperger P, Eggert S, Ruppe I. Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. *Eur J Appl Physiol* 2000;81(1–2):18–27.

99. Hladky A, Musil J, Roth Z, Urban P, Blazkova V. Acute effects of using a mobile phone on CNS functions. *Cent Eur J Public Health* 1999;7(4):165–7.
100. Hamblin DL, Wood AW, Croft RJ, Stough C. Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task. *Clin Neurophysiol* 2004;115(1):171-8.
101. Yuasa K, Arai N, Okabe S, Tarusawa Y, Nojima T, et al. Effects of thirty minutes mobile phone use on the human sensory cortex. *Clin Neurophysiol* 2006;117:900–5.
102. Bak M, Dudarewicz A, Zmyslony M, Sliwinska-Kowalska M. Effects of GSM signals during exposure to event related potentials (ERPs). *Int J Occup Med Environ Health* 2010;23(2):191–9.
103. Maganioti AE, Hountala CD, Papageorgiou CC, Kyprianou MA, Rabavilas AD, et al. Principal component analysis of the P600 waveform: RF and gender effects. *Neurosci Lett* 2010;478(1):19–23.
104. Trunk A, Stefanics G, Zentai N, Bacskay I, Felinger A, et al. Lack of interaction between concurrent caffeine and mobile phone exposure on visual target detection: an ERP study. *Pharmacol Biochem Behav* 2014;124:412–20.
105. Mann K, Röschke J. 1996. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 1996;33(1):41–7.
106. Borbely AA, Huber R, Graf T, Fuchs B, Gallmann E, et al. Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neurosci Lett* 1999;275(3):207-10.
107. Huber R, Graf T, Cote KA, Wittmann L, Gallmann E, et al. Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport* 2000;11(15):3321–5.
108. Huber R, Treyer V, Borbély AA, Schuderer J, Gottselig JM, et al. Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res* 2002;11:289–95.
109. Huber R, Schuderer J, Graf T, Jutz K, Borbely AA, et al. Radio frequency electromagnetic field exposure in humans: Estimation of SAR distribution in the brain, effects on sleep and heart rate. *Bioelectromagnetics* 2003;24(4):262-76.
110. Regel SJ, Tinguely G, Schuderer J, Adam M, Kuster N, et al. Pulsed radio-frequency electromagnetic fields: dose-dependent effects on sleep, the sleep EEG and cognitive performance. *J Sleep Res* 2007;16(3):253–8.
111. Fritzer G, Göder R, Friege L, Wachter J, Hansen V, et al. Effects of short- and long-term pulsed radiofrequency electromagnetic fields on night sleep and cognitive functions in healthy subjects. *Bioelectromagnetics* 2007;28(4):316-25.
112. Lowden A, Akerstedt T, Ingre M, Wiholm C, Hillert L, et al. Sleep after mobile phone exposure in subjects with mobile phone-related symptoms. *Bioelectromagnetics* 2011;32(1):4-14.
113. Loughran SP, McKenzie RJ, Jackson ML, Howard ME, Croft RJ. Individual differences in the effects of mobile phone exposure on human sleep: rethinking the problem. *Bioelectromagnetics* 2012;33(1):86-93.
114. Schmid MR, Loughran SP, Regel SJ, Murbach M, Bratic Grunauer A, et al. Sleep EEG alterations: effects of different pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. *J Sleep Res* 2012;21(1):50-58.
115. Schmid MR, Murbach M, Lustenberger C, Maire M, Kuster N, et al. Sleep EEG alterations: effects of pulsed magnetic fields versus pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. *J Sleep Res* 2012;21(6):620-9.
116. Nakatani-Enomoto S, Furubayashi T, Ushiyama A, Groiss SJ, Ueshima K, et al. Effects of electromagnetic fields emitted from W-CDMA-like mobile phones on sleep in humans. *Pathophysiology* 2013;34(8):589-8.
117. Lustenberger C, Murbach M, Durr R, Schmid MR, Kuster N, et al. Stimulation of the brain with radiofrequency electromagnetic field pulses affects sleep-dependent performance improvement. *Brain Stimul* 2013;6(5):805–11.
118. Lustenberger C, Murbach M, Tüshaus L, Wehrle F, Kuster N, et al. Inter-individual and intra-individual variation of the effects of pulsed RF EMF exposure on the human sleep EEG. *Bioelectromagnetics* 2015;36(3):169-77.
119. Danker-Hopfe H, Dorn H, Bolz T, Peter A, Hansen ML, et al. Effects of mobile phone exposure (GSM 900 and WCDMA/ UMTS) on polysomnography based sleep quality: An intra- and inter-individual perspective. *Environ Res* 2015;145:50–60.
120. Preece AW, Iwi G, Davies-Smith A, Wesnes K, Butler S, et al. Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int J Radiat Biol* 1999;75(4):447–56.
121. Koivisto M, Revonsuo A, Krause C, Haarala C, Sillanmaki L, et al. Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport* 2000;11(2):413–5.
122. Edelstyn N, Oldershaw A. The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport* 2002;13(1):119-21.
123. Lee TM, Lam PK, Yee LT, Chan CC. The effect of the duration of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport* 2003;14(10):1361-4.
124. Curcio G, Ferrara M, De Gennaro L, Cristiani R, D'Inzeo G, et al. Time-course of electromagnetic field effects on human performance and tympanic temperature. *Neuroreport* 2004;15(1):161-4.
125. Schmid G, Sauter C, Stepansky R, Lobentanz IS, Zeitlhofer J. No influence on selected parameters of human visual perception of 1970 MHz UMTS-like exposure. *Bioelectromagnetics* 2005;26(4):243–50.
126. Cinel C, Boldini A, Russo R, Fox E. Effects of mobile phone electromagnetic fields on an auditory order threshold task. *Bioelectromagnetics* 2007;28(6):493-6.

127. Luria R, Eliyahu I, Hareuveny R, Margaliot M, Meiran N. Cognitive effects of radiation emitted by cellular phones: the influence of exposure side and time. *Bioelectromagnetics* 2009;30(3):198-204.
128. Leung S, Croft RJ, McKenzie RJ, Iskra S, Silber B, et al. Effects of 2G and 3G mobile phones on performance and electrophysiology in adolescents, young adults and older adults. *Clin Neurophysiol* 2011;122(11):2203-16.
129. Mortazavi SM, Rouintan MS, Taeb S, Dehghan N, Ghaffarpanah AA, et al. Human short-term exposure to electromagnetic fields emitted by mobile phones decreases computer-assisted visual reaction time. *Acta Neurol Belg* 2012;112(2):171-5.
130. Wallace D, Eltiti S, Ridgewell A, Garner K, Russo R, et al. Cognitive and physiological responses in humans exposed to a TETRA base station signal in relation to perceived electromagnetic hypersensitivity. *Bioelectromagnetics* 2012;33(1):23-39.
131. Sauter C, Eggert T, Dorn H, Schmid G, Bolz T, et al. Do signals of a hand-held TETRA transmitter affect cognitive performance, well-being, mood or somatic complaints in healthy young men? Results of a randomized double-blind cross-over provocation study. *Environ Res* 2015;140:85-94.
132. Volkow ND, Tomasi D, Wang GJ, Vaska P, Fowler JS, et al. Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism. *JAMA* 2011;305(8):808-13.
133. Kwon MS, Vorobyev V, Kännälä S, Laine M, Rinne JO, et al. GSM mobile phone radiation suppresses brain glucose metabolism. *J Cereb Blood Flow Metab* 2011;31(12):2293-301.
134. Huber R, Treyer V, Schuderer J, Berthold T, Buck A, et al. Exposure to pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields affects regional cerebral blood flow. *Eur J Neurosci* 2005;21(4):1000-6.
135. Aalto S, Haarala C, Brück A, Sipilä H, Hämäläinen H, et al. Mobile phone affects cerebral blood flow in humans. *J Cereb Blood Flow Metab* 2006;26(7):885-90.
136. Sienkiewicz ZJ, Blackwell RP, Haylock RG, Saunders RD, Cobb BL. Low-level exposure to pulsed 900 MHz microwave radiation does not cause deficits in the performance of a spatial learning task in mice. *Bioelectromagnetics* 2000;21(3):151-8.
137. Fragopoulou AF, Miltiadous P, Stamatakis A, Stylianopoulou F, Koussoulakos SL, et al. Whole body exposure with GSM 900 MHz affects spatial memory in mice. *Pathophysiology* 2010;17(3):179-87.
138. Aldad TS, Gan G, Gao XB, Taylor HS. Fetal radiofrequency radiation exposure from 800-1900 MHz-rated cellular telephones affects neurodevelopment and behavior in mice. *Sci Re* 2012;2:312.
139. Sharma A, Sisodia R, Bhatnagar D, Saxena VK. Spatial memory and learning performance and its relationship to protein synthesis of Swiss albino mice exposed to 10 GHz microwaves. *Int J Radiat Biol* 2013;90(1):29-35.
140. Shirai T, Imai N, Wang J, Takahashi S, Kawabe M, et al. Multigenerational effects of whole body exposure to 2.14-GHz W-CDMA cellular phone signals on brain function in rats. *Bioelectromagnetics* 2014;35(7):497-511.
141. Hu S, Peng R, Wang C, Wang S, Gao Y, et al. Neuroprotective effects of dietary supplement Kang-fu-ling against high-power microwave through antioxidant action. *Food Funct* 2014;5(9):2243-51.
142. Sokolovic D, Djordjevic B, Kocic G, Babovic P, Ristic G, et al. The effect of melatonin on body mass and behaviour of rats during an exposure to microwave radiation from mobile phone. *Bratisl Lek Listy* 2012;113(5):265-9.
143. Lai H. Neurological effects of non-ionizing electromagnetic fields. In: Sage C, Carpenter DO, Hrsg. *The bioinitiative report 2012, a rationale for a biologically-based public exposure standard for electromagnetic fields (ELF and RF), 2012*. Online unter: <http://www.bioinitiative.org>.
144. Adey WR. Evidence for cooperative mechanisms in the susceptibility of cerebral tissue to environmental and intrinsic electric fields. In: Schmitt FO, Schneider DN, Crothers DM, Hrsg. *Functional linkage in biomolecular systems*. New York: Raven Press, 1975:325-42.
145. Bawin SM, Sheppard AR, Adey WR. Possible mechanisms of weak electromagnetic field coupling in brain tissue. *Bioelectrochem Bioenerg* 1978;5:67-76.
146. Blackman CF, Benane SG, Kinney LS, Joines WT, House DE. Effects of ELF fields on calcium ion efflux from brain tissue in vitro. *Radiat Res* 1982;92:510-20.
147. Adey WR. Tissue interactions with nonionizing electromagnetic fields. *Physiol Rev* 1981;61(2):435-514.
148. Shin EJ, Jeong JH, Kim HJ, Jang CG, Yamada K, et al. Exposure to extremely low frequency magnetic fields enhances locomotor activity via activation of dopamine D1-like receptors in mice. *J Pharmacol Sci* 2007;105(4):367-71.
149. Shin EJ, Nguyen XK, Nguyen TT, Pham DT, Kim HC. Exposure to extremely low frequency magnetic fields enhances locomotor activity via activation of dopamine D1-like receptors in mice. *Exp Neurobiol* 2011;20(3):130-6.
150. Wang LF, Li X, Gao YB, Wang SM, Zhao L, et al. Activation of VEGF/Flk-1-ERK pathway induced blood-brain barrier injury after microwave exposure. *Mol Neurobiol* 2015;52(1): 478-91.
151. Ravera S, Bianco B, Cugnoli C, Panfoli I, Calzia D, et al. Sinusoidal ELF magnetic fields affect acetylcholinesterase activity in cerebellum synaptosomal membranes. *Bioelectromagnetics* 2010;31(4):270-6.
152. Fournier NM, Mach QH, Whissell PD, Persinger MA. Neurodevelopmental anomalies of the hippocampus in rats exposed to weak intensity complex magnetic fields throughout gestation. *Int J Dev Neurosci* 2012;30(6):427-33.
153. Gavalas RJ, Walter DO, Hamner J, Adey WR. Effect of low-level, low-frequency electric fields on EEG and behavior in *Macaca nemestrina*. *Brain Res* 1970;18:491-501.

154. Anderson LE, Phillips ED. Biological effects of electric fields: an overview. In: Gandolfo M, Michaelson S, Rindi A, editors. *Biological effects and dosimetry of static and ELF electromagnetic fields*. New York: Plenum Press, 1984.
155. Balassa T, Szemerszky R, Bárdos G. Effect of short-term 50 Hz electromagnetic field exposure on the behavior of rats. *Acta Physiol Hung* 2009;96(4):437–48.
156. Dimitrijević D, Savić T, Anđelković M, Prolić Z, Janać B. Extremely low frequency magnetic field (50 Hz, 0.5 mT) modifies fitness components and locomotor activity of *Drosophila subobscura*. *Int J Radiat Biol* 2014;90(5):337–43.
157. He LH, Shi HM, Liu TT, Xu YC, Ye KP, et al. Effects of extremely low frequency magnetic field on anxiety level and spatial memory of adult rats. *Chin Med J (Engl)* 2011;124(20):3362–6.
158. Korpınar MA, Kalkan MT, Tuncel H. The 50 Hz (10 mT) sinusoidal magnetic field: effects on stress-related behavior of rats. *Bratisl Lek Listy* 2012;113(9):521–4.
159. Salunke BP, Umathe SN, Chavan JG. Involvement of NMDA receptor in low-frequency magnetic field-induced anxiety in mice. *Electromagn Biol Med* 2014;33(4):312–26.
160. Szemerszky R, Zelena D, Barna I, Bárdos G. Stress-related endocrinological and psychopathological effects of short- and long-term 50Hz electromagnetic field exposure in rats. *Brain Res Bull* 2010;81(1):92–9.
161. Kitaoka K, Kitamura M, Aoi S, Shimizu N, Yoshizaki K. Chronic exposure to an extremely low-frequency magnetic field induces depression-like behavior and corticosterone secretion without enhancement of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in mice. *Bioelectromagnetics* 2013;34(1):43–51.
162. Stevens P. Affective response to 5 microT ELF magnetic field-induced physiological changes. *Bioelectromagnetics* 2007;28(2):109–14.
163. Ross ML, Koren SA, Persinger MA. Physiologically patterned weak magnetic fields applied over left frontal lobe increase acceptance of false statements as true. *Electromagn Biol Med* 2008;27(4):365–71.
164. Nishimura T, Tada H, Guo X, Murayama T, Teramukai S, et al. A 1- $\mu$ T extremely low-frequency electromagnetic field vs. sham control for mild-to-moderate hypertension: a double-blind, randomized study. *Hypertens Res* 2011;34(3):372–7.
165. Huss A, Koeman T, Kromhout H, Vermeulen R. Extremely low frequency magnetic field exposure and parkinson's disease—a systematic review and meta-analysis of the data. *Int J Environ Res Public Health* 2015;12(7):7348–56.
166. Zhou H, Chen G, Chen C, Yu Y, Xu Z. Association between extremely low-frequency electromagnetic fields occupations and amyotrophic lateral sclerosis: a meta-analysis. *PLoS One* 2012;7(11):e48354.
167. Vergara X, Kheifets L, Greenland S, Oksuzyan S, Cho YS, et al. Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and neurodegenerative disease: a meta-analysis. *J Occup Environ Med* 2013;55(2):135–46.
168. Kundi M, Hutter HP. Umwelthygienische Bewertung des Berichtes zur Bestimmung der Feldstärken niederfrequenter magnetischer Wechselfelder im Bereich der 110 kV Hochspannungsleitung im Siedlungsbereich der Gemeinde Kottlingbrunn von Dr.-Ing. Dietrich Moldan vom 20.8.2014 [Internet]. Kottlingbrunn (AT): Gemeinde Kottinbrunn, 2014:69–104. Online unter: [www.kotting-brunn.or.at/system/web/GetDocument.ashx?fileid=972861](http://www.kotting-brunn.or.at/system/web/GetDocument.ashx?fileid=972861).
169. Stam R. Electromagnetic fields and the blood-brain barrier. *Brain Res Rev* 2010;65(1):80–97.
170. Nittby H, Brun A, Strömblad S, Moghadam MK, Sun W, et al. Nonthermal GSM RF and ELF EMF effects upon rat BBB permeability. *Environmentalist* 2011; 31(2):140–8.
171. Salford LG, Nittby H, Persson BRR. Effects of electromagnetic fields from wireless communication upon the blood-brain barrier. In: Sage C, Carpenter DO, Hrsg. *The BioInitiative Report 2012: A Rationale for a Biologically based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF)*. Online unter: <http://www.bioinitiative.org/>: 1–52.
172. Zhou JX, Ding GR, Zhang J, Zhou YC, Zhang YJ, et al. Detrimental effect of electromagnetic pulse exposure on permeability of in vitro blood-brain-barrier model. *Biomed Environ Sci* 2013;26(2):128–37.
173. Tang J, Zhang Y, Yang L, Chen Q, Tan L, et al. Exposure to 900 MHz electromagnetic fields activates the mep-1/ERK pathway and causes blood-brain barrier damage and cognitive impairment in rats. *Brain Res* 2015;1601:92–101.
174. Masuda H, Hirota S, Ushiyama A, Hirata A, Arima T, et al. No dynamic changes in blood-brain barrier permeability occur in developing rats during local cortex exposure to microwaves. *In Vivo* 2015;29(3):351–7.
175. Sage C. Summary table 1-1. In: Sage C, DO Carpenter (Hrsg.), *The BioInitiative Report 2012: a rationale for a biologically-based public exposure standard for electromagnetic fields (ELF and RF)*, 2012. Online unter: <http://www.bioinitiative.org/>:
176. Agarwal A, Deepinder F, Sharma RK, Ranga G, Li J. Effect of cell phone usage on semen analysis in men attending infertility clinic: an observational study. *Fertil Steril* 2008;89(1):124–8.
177. Agarwal A, Desai NR, Makker K, Varghese A, Mouradi R, et al. Effect of radiofrequency electromagnetic waves (RF-EMF) from cellular phones on human ejaculated semen: an in vitro study. *Fertil Steril* 2009;92(4):1318–25.
178. Wdowiak A, Wdowiak L, Wiktor H. Evaluation of the effect of using mobile phones on male fertility. *Ann Agric Environ Med* 2007;14(1):169–72.
179. De Iuliis GN, Newey RJ, King BV, Aitken RJ. Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro. *PLoS One* 2009;4(7):e6446.



180. Fejes I, Zavacki Z, Szollosi J, Koloszar Daru J, Kovacs L, et al. Is there a relationship between cell phone use and semen quality? *Arch Androl* 2005;51(5):385–93.
181. Aitken RJ, Bennetts LE, Sawyer D, Wiklendt AM, King BV. Impact of radio frequency electromagnetic radiation on DNA integrity in the male germline. *Int J Androl* 2005;28(3):171–9.
182. Kumar S, Behari J, Sisodia R. Impact of Microwave at X-Band in the aetiology of male infertility. *Electromagn Biol Med* 2012;31(3):223–32.
183. Aitken RJ, Koopman P, Lewis SEM. Seeds of concern. *Nature* 2004;432(7013):48–52.
184. Eroglu O, Oztas E, Yildirim I, Kir T, Aydur E, et al. Effects of electromagnetic radiation from a cellular phone on human sperm motility: an in vitro study. *Arch Med Res* 2006;37(7):840–3.
185. Dasdag S. Whole-body microwave exposure emitted by cellular phones and testicular function of rats. *Urol Res* 1999;27(3):219–23.
186. Yan JG, Agresti M, Bruce T, Yan YH, Granlund A, et al. Effects of cellular phone emissions on sperm motility in rats. *Fertil Steril* 2007;88(4):957–64.
187. Otitoloju AA, Obe IA, Adewale OA, Otubanjo OA, Osunkalu VO. Preliminary study on the reduction of sperm head abnormalities in mice, *Mus musculus*, exposed to radiofrequency radiations from global system for mobile communication base stations. *Bull Environ Contam Toxicol* 2010;84(1):51–4.
188. Behari J, Kesari KK. Effects of microwave radiations on reproductive system of male rats. *Embryo Talk* 2006;1(Suppl 1):81–5.
189. Neutra RR, Hristova L, Yost M, Hiatt RA. A nested case-control study of residential and personal magnetic field measures and miscarriages. *Epidemiology* 2002;13(1):21–31.
190. Li DK, Odouli R, Wi S, Janevic T, Golditch I, et al. A population-based prospective cohort study of personal exposure to magnetic fields during pregnancy and the risk of miscarriage. *Epidemiology* 2002;13(1):9–20.
191. Roosli M, Moser M, Baldinini Y, Meier M, Braun-Fahrlander C. Symptoms of ill health ascribed to electromagnetic field exposure – a questionnaire survey. *Int J Hyg Environ Health* 2004;207(2):141–50.
192. Huss A, Kuchenhoff J, Bircher A, Heller P, Kuster H, et al. Symptoms attributed to the environment – a systematic interdisciplinary assessment. *Int J Hyg Environ Health* 2004;207(3):245–54.
193. Huss A, Kuchenhoff J, Bircher A, Niederer M, Tremp J, et al. Elektromagnetische Felder und Gesundheitsbelastungen – Interdisziplinäre Fallabklärungen im Rahmen eines umweltmedizinischen Beratungsprojektes. *Umweltmed Forsch Prax* 2005;10(1):21–8.
194. Hagstrom M, Auranen J, Ekman R. Electromagnetic hypersensitive Finns: symptoms, perceived sources and treatments, a questionnaire study. *Pathophysiology* 2013;20(2):117–22.
195. Schreier N, Huss A, Roosli M. The prevalence of symptoms attributed to electromagnetic field exposure: a cross-sectional representative survey in Switzerland. *Soz Präventivmed* 2006;51(4):202–9.
196. Huss A, Roosli M. Consultations in primary care for symptoms attributed to electromagnetic fields – a survey among general practitioners. *BMC Public Health* 2006;6:267.
197. Ausfeld-Hafter B, Manser R, Kempf D, Brandli I. Komplementärmedizin. Eine Fragebogenerhebung in schweizerischen Arztpraxen mit komplementärmedizinischem Diagnostik- und Therapieangebot. Studie im Auftrag vom Bundesamt für Umwelt. Universität Bern. Kollegiale Instanz für Komplementärmedizin (KIKOM) [Internet]. Bern (CH): Bundesamt für Umwelt. 2006 Oct 5. Online unter: <https://www.diagnose-funk.org/publikationen/artikel/detail&newsid=720>.
198. Leitgeb N, Schrottner J, Bohm M. Does “electromagnetic pollution” cause illness? An inquiry among Austrian general practitioners. *Wien Med Wochenschr* 2005;155(9–10):237–41.
199. Kato Y, Johansson O. Reported functional impairments of electrohypersensitive Japanese: a questionnaire survey. *Pathophysiology* 2012;19(2):95–100.
200. Khurana VG, Hardell L, Everaert J, Bortkiewicz A, Carlberg M, et al. Epidemiological evidence for a health risk from mobile phone base stations. *Int J Hyg Environ Health* 2010;16(3):263–7.
201. Carpenter DO. The microwave syndrome or electro-hypersensitivity: historical background. *Rev Environ Health* 2015;30(4):217–22.
202. World Health Organization. Factsheet Nr. 296, Elektromagnetische Felder und Öffentliche Gesundheit – Elektromagnetische Hypersensitivität (Elektrosensibilität) [Internet]. Genf (CH): WHO, Dez. 2005. Online unter: [http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/ehs\\_fs\\_296\\_german.pdf](http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/ehs_fs_296_german.pdf).
203. Tresidder A, Bevington M. Electrosensitivity: sources, symptoms, and solutions. In: Rosch PJ, Hrsg. *Bioelectromagnetic and subtle energy medicine*, 2. Ausg. Boca Raton, FL, (USA): CRC Press, Taylor & Francis Group Version Date: 20141107, ISBN-13: 978-1-4822-3320-9 (eBook – PDF).
204. Genuis SJ, Lipp CT. Electromagnetic hypersensitivity: fact or fiction? *Sci Total Environ* 2012;414:103–12.
205. Johansson O, Liu P-Y. “Electrosensitivity”, “electrosupersensitivity” and “screen dermatitis”: preliminary observations from on-going studies in the human skin. In: Simunic D, Hrsg. *Proceedings of the COST 244: Biomedical Effects of Electromagnetic Fields – Workshop on Electromagnetic Hypersensitivity*. Brussels/Graz: EU/EC (DG XIII) 1995:52–57.

206. Johansson O, Gangi S, Liang Y, Yoshimura K, Jing C, et al. Cutaneous mast cells are altered in normal healthy volunteers sitting in front of ordinary TVs/PCs – results from open-field provocation experiments. *J Cutan Pathol* 2001;28(10):513–9.
207. Belpomme D, Campagnac C, Irigaray P. Reliable disease biomarkers characterizing and identifying electrohypersensitivity and multiple chemical sensitivity as two etiopathogenic aspects of a unique pathological disorder. *Rev Environ Health* 2015;30(4):251-71.
208. Regel SJ, Negovetic S, Roosli M, Berdinas V, Schuderer J, et al. UMTS base station-like exposure, well-being, and cognitive performance. *Environ Health Perspect* 2006;114(8):1270-5.
209. Zwamborn APM, Vossen SHJA, van Leersum BJAM, Ouwens MA, Makel WN. Effects of global communication system radio-frequency fields on well being and cognitive functions of human subjects with and without subjective complaints. The Hague (NL): TNO Physics and Electronics Laboratory, Sept. 2003, 86 S. TNO-report FEL-03-C148. Online unter: [https://www.salzburg.gv.at/gesundheit/Documents/tno-fel\\_report\\_03148\\_definitief.pdf](https://www.salzburg.gv.at/gesundheit/Documents/tno-fel_report_03148_definitief.pdf).
210. Eltiti S, Wallace D, Ridgewell A, Zougkou K, Russo R, et al. Does short-term exposure to mobile phone base station signals increase symptoms in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields? A double-blind randomized provocation study. *Environ Health Perspect* 2007;115(11):1603-8.
211. McCarty DE, Carrubba S, Chesson AL, Frilot C, Gonzalez-Toledo E, et al. Electromagnetic hypersensitivity: evidence for a novel neurological syndrome. *Int J Neurosci* 2011;121(12):670-6.
212. Havas M, Marrongelle J, Pollner B, Kelley E, Rees CR, et al. Provocation study using heart rate variability shows microwave radiation from 2.4 GHz cordless phone affects autonomic nervous system [Internet]. In: Giuliani L, Soffritti M, Hrsg. Non-thermal effects and mechanisms of interaction between electromagnetic fields and living matter. Bologna (IT): Ramazzini Institute, 2010. *European Journal of Oncology – Library Bd. 5*. S. 187-218. Online unter: <http://www.icems.eu/papers.htm?f=/c/a/2009/12/15/MNHJ1B49KH.DTL>.
213. Havas M. Radiation from wireless technology affects the blood, the heart, and the autonomic nervous system. *Rev Environ Health* 2013;28(2-3):75-84.
214. Tuengler A, von Klitzing L. Hypothesis on how to measure electromagnetic hypersensitivity. *Electromagn Biol Med* 2013;32(3):281-90.
215. Klitzing L. Einfluss elektromagnetischer Felder auf kardiovaskuläre Erkrankungen. *umwelt medizin gesellschaft* 2014;27(1):17–21.
216. Santini R, Santini P, Danze JM, Le Ruz P, Seigne M. Investigation on the health of people living near mobile telephone relay stations: I/Incidence according to distance and sex. *Pathol Biol (Paris)* 2002;50(6):369–73.
217. Navarro EA, Segura J, Portoles M, Gomez-Perretta de Mateo C. The microwave syndrome: a preliminary study in Spain. *Electromagn Biol Med* 2003;22(2-3):161-9.
218. Hutter HP, Moshhammer H, Wallner P, Kundi M. Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. *Occup Environ Med* 2006;63(5):307-13.
219. Abdel-Rassoul G, El-Fateh OA, Salem MA, Michael A, Farahat F, et al. Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations. *Neurotoxicology* 2007;28(2):434–40.
220. Blettner M, Schlehofer B, Breckenkamp J, Kowall B, Schmiedel S, et al. Mobile phone base stations and adverse health effects: phase 1 of a population-based, cross-sectional study in Germany. *Occup Environ Med* 2009;66(2):118-23.
221. Molla-Djafari H, Witke J, Poinstingl G, Brezansky A, Hutter HP, et al. Leitfaden Senderbau -Vorsorgeprinzip bei Errichtung, Betrieb, Um- und Ausbau von ortsfesten Sendeanlagen. Wien (AT): Ärztinnen und Ärzte für eine gesunde Umwelt e.V. (Hrsg.), Okt. 2014. 2. Aufl., 42 S., Online unter: [www.aegu.net/pdf/Leitfaden.pdf](http://www.aegu.net/pdf/Leitfaden.pdf).
222. Milham S, Stetzer D. Dirty electricity, chronic stress, neurotransmitters and disease. *Electromagn Biol Med* 2013;32(4):500-7.
223. Blackman C. Evidence for disruption by the modulating signal. In: Sage C, Carpenter DO, Hrsg. *The bioinitiative report 2007: a rationale for a biologically-based public exposure standard for electromagnetic fields (ELF and RF)*, 2007. Online unter: <http://www.bioinitiative.org/>.
224. Belyaev I. Evidence for disruption by modulation: role of physical and biological variables in bioeffects of non-thermal microwaves for reproducibility, cancer risk and safety standards. In: Sage C, Carpenter DO, Hrsg. *Bioinitiative report 2012: a rationale for a biologically-based public exposure standard for electromagnetic fields (ELF and RF)*, 2012, Online unter: <http://www.bioinitiative.org/>.
225. Matronchik AI, Belyaev IY. Mechanism for combined action of microwaves and static magnetic field: slow non uniform rotation of charged nucleoid. *Electromagn Biol Med* 2008;27:340–54.
226. Binhi VN, Alipov YD, Belyaev IY. Effect of static magnetic field on E. coli cells and individual rotations of ion-protein complexes. *Bioelectromagnetics* 2001;22(2):79-86.
227. Première reconnaissance d'un handicap dû à l'électrosensibilité en France. *Le Monde fr avec AFP* | 25.08.2015. Online unter: [http://www.lemonde.fr/planete/article/2015/08/25/premiere-reconnaissance-en-justice-d-un-handicap-du-a-l-electrosensibilite\\_4736299\\_3244.html](http://www.lemonde.fr/planete/article/2015/08/25/premiere-reconnaissance-en-justice-d-un-handicap-du-a-l-electrosensibilite_4736299_3244.html).
228. Abelous D. France has its first radiation-free refuge in the Drome [Internet]. *EURRE/Drome (FR): Agence France Presse (AFP)*, 9. Oct. 2009. Online unter: <http://www.next-up.org/pdf/>

- AFP\_France\_has\_its\_first\_radiation\_free\_refuge\_in\_the\_Drome\_09\_10\_2009.pdf.
229. Ecoforma. Mit einem schadstofffreiem Haus gegen Schlafprobleme [Internet]. Sarleinsbach (AT): Ecoforma, 9. Sept. 2014. Online unter: <http://www.ecoforma.co.at/holzbau-ecobau-lehrbaustelle/>.
  230. Friedmann J, Kraus S, Hauptmann Y, Schiff Y, Seger R. Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies. *Biochem J* 2007;405(3):559–68.
  231. Simko M. Cell type specific redox status is responsible for diverse electromagnetic field effects. *Curr Med Chem* 2007;14(10):1141–52.
  232. Pall ML. Explaining “Unexplained Illnesses”: disease paradigm for chronic fatigue syndrome, multiple chemical sensitivity, fibromyalgia, post-traumatic stress disorder, Gulf War Syndrome, and others. New York, NY (US), London (GB): Harrington Park Press/Haworth Press, 2007, ISBN 978-0-7890-2388-9.
  233. Bedard K, Krause KH. The NOX Family of ROS-Generating NADPH oxidases: physiology and pathophysiology. *Physiol Rev* 2007;87(1):245–313.
  234. Pacher P, Beckman JS, Liaudet L. Nitric oxide and peroxynitrite in health and disease. *Physiol Rev* 2007;87(1):315–424.
  235. Desai NR, Kesari KK, Agarwal A. Pathophysiology of cell phone radiation: oxidative stress and carcinogenesis with focus on male reproductive system. *Reprod Biol Endocrinol* 2009;7:114.
  236. Straub RH, Cutolo M, Buttgerit F, Pongratz G. Energy regulation and neuroendocrine-immune control in chronic inflammatory diseases. *J Intern Med* 2010;267(6):543–60.
  237. Gye MC, Park CJ. Effect of electromagnetic field exposure on the reproductive system. *Clin Exp Reprod Med* 2012;39(1):1–9.
  238. Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, Henshel D, Kyrlyenko O, et al. Oxidative mechanisms of biological activity of lowintensity radiofrequency radiation. *Electromagn Biol Med* 2015;19:1-16.
  239. Consoles C, Merla C, Marino C, Benassi B. Electromagnetic fields, oxidative stress, and neurodegeneration. *Int J Cell Biol* 2012;2012:683897.
  240. Pall ML. Microwave frequency electromagnetic fields (EMFs) produce widespread neuropsychiatric effects including depression. *J Chem Neuroanat* 2015. pii: S0891-0618(15)00059-9. DOI: 10.1016/j.jchemneu.2015.08.001. [Epub vor dem Druck veröffentlicht].
  241. Erdal N, Gurgul S, Tamer L, Ayaz L. Effects of long-term exposure of extremely low frequency magnetic field on oxidative/nitrosative stress in rat liver. *J Radiat Res* 2008;49(2):181–7.
  242. De Luca C, Thai JC, Raskovic D, Cesareo E, Caccamo D, et al. Metabolic and genetic screening of electromagnetic hypersensitive subjects as a feasible tool for diagnostics and intervention. *Mediat Inflamm* 2014;2014:924184.
  243. Myhill S, Booth NE, McLaren-Howard J. Chronic fatigue syndrome and mitochondrial dysfunction. *Int J Clin Exp Med* 2009;2(1):1–16.
  244. Müller KE. Stressregulation und Mitochondrienfunktion. *Zs f Orthomol Med* 2012;1:1–13.
  245. Buchner K, Eger H. Veränderung klinisch bedeutsamer Neurotransmitter unter dem Einfluss modulierter hochfrequenter Felder – Eine Langzeiterhebung unter lebensnahen Bedingungen. *umwelt medizin gesellschaft* 2011;24(1):44–57.
  246. Hill HU, Huber W, Müller KE. Multiple-Chemikalien-Sensitivität (MCS) – Ein Krankheitsbild der chronischen Multisystemerkrankungen, umweltmedizinische, toxikologische und sozialpolitische Aspekte. Aachen (DE): Shaker-Verlag, Apr. 2010, 3. Aufl., 500 S. ISBN: 978-3-8322-9046-7.
  247. Redmayne M, Johansson O. Could myelin damage from radiofrequency electromagnetic field exposure help explain the functional impairment electrohypersensitivity? A review of the evidence. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2014;17(5):247–58.
  248. Von Baehr V. Rationelle Labordiagnostik bei chronisch entzündlichen Systemerkrankungen. *umwelt medizin gesellschaft* 2012;25(4):244–7.
  249. Warnke U, Hensinger P. Steigende. “Burn-out“-Inzidenz durch technisch erzeugte magnetische und elektromagnetische Felder des Mobil- und Kommunikationsfunks. *umwelt-medizin- gesellschaft* 2013;26(1):31–8.
  250. Havas M. Dirty electricity elevates blood sugar among electrically sensitive diabetics and may explain brittle diabetes. *Electromagn Biol Med* 2008;27(2):135-46.
  251. Herbert MR, Sage C. Autism and EMF? Plausibility of a pathophysiological link – Part I. *Pathophysiology* 2013;20(3):191–209.
  252. Herbert MR, Sage C. Autism and EMF? Plausibility of a pathophysiological link part II. *Pathophysiology* 2013;20(3):211-34.
  253. Eskander EF, Estefan SF, Abd-Rabou AA. How does long term exposure to base stations and mobile phones affect human hormone profiles? *Clin Biochem* 2012;45(1–2):157–61.
  254. Steiner E, Aufdereggen B, Bhend H, Gilli Y, Kalin P, et al. Erfahrungen des Pilotprojektes „Umweltmedizinisches Beratungsnetz“ des Vereins Aerztinnen und Aerzte für Umweltschutz (AefU). *Therapeutische Umschau* 2013;70(12):739–45.
  255. Hagstrom M, Auranen J, Johansson O, Ekman R. Reducing electromagnetic irradiation and fields alleviates

- experienced health hazards of VDU work. *Pathophysiology* 2012;19(2):81-7.
256. Oberfeld G. Die Veränderung des EMF Spektrums und ihre Folgen. In: Baubiologische EMF-Messtechnik. München, Heidelberg (DE): Hüthig and Pflaum Verlag, 2012. ISBN 1438-8707.
257. Berufsverband Deutscher Baubiologen. VDB-Richtlinien, Physikalische Untersuchungen, Band 1: Fürth (DE): Verlag AnBUS e.V., 2006. 2. Aufl. ISBN 3-9808428-6-X.
258. Virnich M. Gutachten über die messtechnische Untersuchung der Charakteristik von Funksignalen [Internet]. Salzburg (AT): Land Salzburg, 26. Jun. 2015, 141 S. Online unter: [https://www.salzburg.gv.at/gesundheits\\_/Seiten/technik.aspx](https://www.salzburg.gv.at/gesundheits_/Seiten/technik.aspx).
259. Bundesamt für Umwelt. Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN) [Internet]. Bern (CH): Bundesamt für Umwelt, 4. März 2010. Online unter: <http://www.bafu.admin.ch/elektros-mog/13893/15175/15257/index.html?lang=de>.
260. Kundi M, Hutter HP. Mobile phone base stations – Effects on wellbeing and health. *Pathophysiology* 2009;16(2–3):123-35.
261. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Draft Report of NCRP Scientific Committee 89-3 on Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields [Internet]. 13. Juni 1995. Online unter: [https://www.salzburg.gv.at/gesundheits\\_/Documents/ncrp\\_draft\\_recommendations\\_on\\_emf\\_exposure\\_guidelines\\_1995.pdf](https://www.salzburg.gv.at/gesundheits_/Documents/ncrp_draft_recommendations_on_emf_exposure_guidelines_1995.pdf).
262. Oberfeld G. Prüfkatalog des Fachbereiches Umweltmedizin für das Vorhaben 380kV Freileitung von St. Peter a. H. zum Umspannwerk Salzach Neu (Salzburgleitung) der Verbund-Austrian Power Grid AG. [Internet] Salzburg (AT): Land Salzburg, 27. Feb. 2006. Online unter: [https://www.salzburg.gv.at/gesundheits\\_/Documents/Umweltmedizin-Sbg.pdf](https://www.salzburg.gv.at/gesundheits_/Documents/Umweltmedizin-Sbg.pdf).
263. Baubiologie Maes/Institut für Baubiologie & Nachhaltigkeit (IBN). Baubiologische Richtwerte für Schlafbereiche (SBM-2015). Neuss, Rosenheim (DE): Baubiologie Maes, IBN, Mai 2015, 3 S. Online unter: <http://www.baubiologie.de/downloads/richtwerte-schlafbereiche-15.pdf>.
264. Der Schweizerische Bundesrat. Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) vom 23. Dezember 1999 [Internet]. Bern (CH): Der Schweizerische Bundesrat, 1. Juli 2012. Online unter: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19996141/index.html>.
265. TCO Certified Displays 7.0-11. November 2015 [Internet]. TCO Development. Online unter: <http://tcodevelopment.com/files/2015/11/TCO-Certified-Displays-7.0.pdf>.
266. Vignati M, Giuliani L. Radiofrequency exposure near high-voltage lines. *Environ Health Perspect* 1997;105(Suppl 6):1569-73.
267. Margaritis LH, Manta AK, Kokkaliaris KD, Schiza D, Alimisis K et al. Drosophila oogenesis as a biomarker responding to EMF sources. *Electromagn Biol Med* 2014;33(3):165-89.
268. Gustavs K. Options to minimize non-ionizing electromagnetic radiation exposures (EMF/RF/Static fields) in office environments [Internet]. Victoria, BC (CA): Katharina Consulting, 14. November 2008. Online unter: [http://www.katharinaconsulting.com/s/2008\\_Gustavs\\_Low\\_EMF\\_Office\\_Environment.pdf](http://www.katharinaconsulting.com/s/2008_Gustavs_Low_EMF_Office_Environment.pdf).
269. Oberfeld G, Gutbier J. Elektrosmog im Alltag [Internet]. Stuttgart (DE): Diagnose Funk, 10. November 2013, 44 S. Online unter: [https://www.salzburg.gv.at/gesundheits\\_/Seiten/infoblatter.aspx](https://www.salzburg.gv.at/gesundheits_/Seiten/infoblatter.aspx).
270. Virnich M. Baubiologische EMF-Messtechnik – Grundlagen der Feldtheorie, Praxis der Feldmesstechnik. München, Heidelberg (DE): Hüthig and Pflaum Verlag, 2012. ISBN 1438-8707.
271. Pauli P, Moldan D. Reduzierung hochfrequenter Strahlung im Bauwesen: Baustoffe und Abschirmmaterialien. Fürth (DE): Hrsg. Berufsverband Deutscher Baubiologen VDB e.V., Verlag AnBUS e.V. 2015. JAMA 978;-3(-9814025):-9-9.
272. Levy F, Wannag A, Hrsg. Nordic adaptation of classification of occupationally related disorders (diseases and symptoms) to ICD-10 [Internet]. Oslo (NO): Nordic council of ministers, 2000, 53 S. DIVS: 2000:839, ISBN: 92-893-0559-2. Online unter: [http://www.nordclass.se/ICD-10\\_Nordic%20Occupational\\_2000.pdf](http://www.nordclass.se/ICD-10_Nordic%20Occupational_2000.pdf).
273. Bansal M, Kaushal N. Oxidative stress mechanisms and their modulation. New Delhi (IN): Springer, 2014:167.
274. Brostoff J, Challacombe S. Food allergy and intolerance. London (GB): Balliere Tindall, 1987.
275. Andre CM, Larondelle Y, Eners D. Dietary antioxidants and oxidative stress from a human and plant perspective, a review. *Curr Nutr Food Sci* 2010;6(1):2–12.
276. Bouayed J, Bohn T. Exogenous antioxidants-double edged swords in cellular redox state; health beneficial effects at physiological doses versus deleterious effects at high doses. *Oxid Med Cell Longev* 2010;3(4):228–37.
277. Hoffmann W, Staller B. Prävention durch richtige Ernährung. *umwelt medizin gesellschaft* 2012;25(2):115–7.
278. Suzuki YJ, Packer L. Inhibition of NFκB activation by vitamin E derivatives. *Biochem Biophys Res Commun* 1993;193(1):277–83.
279. Zingg JM. Modulation of signal transduction by vitamin E. *Mol Aspects Med* 2007;28(5–6):481–506.
280. Yeh SL, Wang HM, Chen PY, Wu TC. Interaction of β-Carotin and flavonoids on the secretion of inflammatory mediators in an in vitro system. *Chem Biol Interact* 2009;179(2–3): 386-93.
281. Carcamo JM, Pedraza A, Borquez-Ojeda O, Golde DW. Vitamin C suppresses TNF alpha-induced NF kappa B activation by inhibiting I kappa B alpha phosphorylation. *Biochemistry* 2002;41(43):12995–3002.
282. Carcamo JM, Pedraza A, Borquez-Ojeda O, Zhang B, Sanchez R, et al. Vitamin C is a kinase inhibitor: dehydroascorbic acid inhibits IκappaBαphosphatase beta. *Mol Cell Biol* 2004; 24(15):6645–52.

283. Kyaw M, Yoshizumi M, Tsuchya K, Suzaki Y, Abe S, et al. Antioxidants inhibit endothelin-1 (1-31)-induced proliferation of vascular smooth muscle cells via the inhibition of mitogenactivated protein (MAP) kinase and activator protein-1 (AP-1). *Biochem Pharmacol* 2002;64(10):1521–31.
284. Lubbad A, Oriowo MA, Khan I. Curcumin attenuates inflammation through inhibition of TLR-4 receptor in experimental Colitis. *Mol Cell Biochem* 2009;322(1–2): 127–35.
285. Woo JH, Lim JH, Kim YH, Soh SI, Min DS, et al. Resveratrol inhibits phorbol myristate acetate-induced matrix metalloproteinase-9 expression by inhibiting JNK and PKC delta signal transduction. *Oncogene* 2004;23(10):1845–53.
286. Nonn L, Duong D, Pechl DM. Chemopreventive anti-inflammatory activities of curcumin and other phytochemicals mediated by MAP kinase phosphatase-5 in prostata cells. *Carcinogenesis* 2007;28(6):1188–96.
287. Khan N, Mukhtar H. Multitargeted therapy of cancer by green tee polyphenols. *Cancer Lett* 2008;269(2):269–80.
288. Roskoski R. *Biochemistry*. Philadelphia, PA, USA: W.B. Saunders Company, 1996:530 ff.
289. Devlin TM, Hrsg. *Textbook of Biochemistry with Clinical Correlations*, 5. Aufl. New York, NY (US): Wiley-Liss, 2002.
290. Rassow J, Hauser K, Netzker, Deutzmann R. *Biochemie*. 2. Aufl.
291. Müller KE. Genetische Polymorphismen der Catechol-O- Methyltransferase (COMT). *umwelt medizin gesellschaft* 2007;20(4):282–8.
292. Rea WJ. *Chemical Sensitivity, Bd. 2: Sources of Total Body Load*, 1. Aufl. Boca Raton, FL (US): CRC Press/Lewis Publishers, 1994:569 ff.
293. Schäfer SG, Elsenhans B, Forth W, Schumann K. Metalle. In: Marquardt H, Schäfer SG, Hrsg. *Lehrbuch der Toxikologie*. Heidelberg (DE): Spektrum Akademischer Verlag, 1997:504–49 ff.
294. Goyer RA, Cherian GM, Hrsg. *Toxicology of Metals*. Berlin, Heidelberg (DE): Springer-Verlag, 1995:467 ff.
295. Müller KE. *Immuntoxikologie der Metalle*. *umwelt medizin gesellschaft* 2004;17(4):299–301.
296. Aposian HV, Malorino RM, Gonzales-Ramirez D, Zuniga- Charles M, Xu Z, et al. Mobilization of heavy metals by newer, therapeutically useful chelating agents. *Toxicology* 1995;97(1–3):23–38.
297. Flora SJ, Pachauri V. Chelation in Metal Intoxication. *Int J Environ Res Public Health* 2010;7(7):2745–88.
298. Jennrich P. *Detoxifikation von Schwermetallen*. *umwelt medizin gesellschaft* 2012;25(4):24–7.
299. Pall ML. Do sauna therapy and exercise act by raising the availability of tetrahydrobiopterin? *Med Hypotheses* 2009;73(4):610–3.
300. Rozanowska M, Jarvis-Evans J, Korytowski W, Boulton ME, Burke JM, et al. Blue-light induced reactivity of retinal age pigment. *In vitro generation of oxygen-reactive species*. *J Biol Chem* 1995;270(32):18825–30.
301. Tolentino M, Morgan G. Popularity of electronic devices, “greener” light bulbs increases blue light exposure. *Pri Care Optometry News* 2012;18-9.
302. van der Lely S, Frey S, Garbazza C, Wirz-Justice A, Jenni OG, et al. Blue blocker glasses as a countermeasure for alerting effects of evening light-emitting diode screen exposure in male teenagers. *J Adolesc Health* 2015;56(1):113–9.
303. Narimatsu T, Negishi K, Miyake S, Hirasawa M, Osada H, et al. Blue light-induced inflammatory marker expression in the retinal pigment epithelium-choroid of mice and the protective effect of a yellow intraocular lens material in vivo. *Exp Eye Res* 2015;132:48–51.
304. Nishi T, Saeki K, Obayashi K, Miyata K, Tone N, et al. The effect of blue-blocking intraocular lenses on circadian biological rhythm: protocol for a randomised controlled trial (CLOCK-IOL colour study). *BMJ Open* 2015;5(5):e007930.
305. Mutter J, Naumann J, Schneider R, Walach H, Haley B. Mercury and autism: accelerating evidence? *Neuro Endocrinol Lett* 2005;26(5):439–46.
306. Mutter J, Naumann J, Guethlin C. Comments on the article “the toxicology of mercury and its chemical compounds” by Clarkson and Magos (2006). *Crit Rev Toxicol* 2007;37(6):537–49; discussion 551–2.
307. Mutter J, Naumann J, Schneider R, Walach H, Haley B. Mercury and autism: accelerating evidence? A systematic review and an integrated molecular mechanism. *J Alzheimers Dis* 2010;22(2):357–74.
308. Geier DA, King PG, Sykes LK, Geier MR. A comprehensive review of mercury provoked autism. *Indian J Med Res* 2008;128(4):383–411. Stuttgart (DE): Thieme, 2008:872 ff.

Aus dem Englischen übersetzt von Katharina Gustavs, 2016.

**Originalbeitrag und ergänzende Materialien als open access:**

<http://www.degruyter.com/view/j/reveh.ahead-of-print/reveh-2016-0011/reveh-2016-0011.xml?format=INT>

**EUROPAEM:**

<https://europaem.eu/de/bibliothek/blog-de/98-europaem-emf-leitlinie-2016>