

Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg
Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles
Band: 99 (2010)

Artikel: Elektromagnetische Felder in der Umwelt : Risiko oder Nutzen?
Autor: Lehmann, Hugo
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-308890>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 29.01.2026

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

Elektromagnetische Felder in der Umwelt: Risiko oder Nutzen?

HUGO LEHMANN

*Umwelt und Elektromagnetische Verträglichkeit,
Strategie und Innovation, Swisscom (Schweiz) AG*

&

*Bereich Umweltwissenschaften,
Universität Freiburg*

*„What man desires is not knowledge, but certainty.”
Bertrand Russell*

Einleitung

Obwohl die technologische Nutzung von elektromagnetischen Feldern (EMF) schon über 100 Jahre alt ist¹⁰, wurden die möglichen Einflüsse der vom Mensch erzeugten EMF erst im Zusammenhang mit dem fulminanten Anstieg der Mobilfunknutzung Ende des 20. Jahrhunderts im breiten Publikum diskutiert. Ende 2009 zählte man in der Schweiz mehr als 1.2 Handyabonnemente pro Einwohner¹¹. Aufgrund dieser breiten Nutzung von Mobiltelefonen und der Omnipräsenz der dafür notwendigen Infrastruktur aber auch der grossen Verbreitung alternativer drahtloser Technologien wie DECT oder WLAN, ist die Frage nach einem möglichen Einfluss dieser Felder auf die Gesundheit eine wichtige gesellschaftspolitische Frage.

Der Mensch ist seit eh und je den natürlichen Feldern in der Umwelt ausgesetzt gewesen: Das elektro- und magnetostatische Feld der Erde sowie das Spektrum der Sonne als wichtigste aller natürlichen Quellen begleiteten die menschliche Evolution auf Schritt und Tritt. Die Entwicklung der Funktechnologien und die technische Nutzung von Radiosignalen führten von Beginn an zu Bedenken, dass insbesondere diese von Menschenhand erzeugten, „unnatürlichen“ EMF ein Risiko für die Gesundheit sein könnten.

10 1901: Erste drahtlose, transatlantische Verbindung durch G. Marconi, siehe nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1909/marconi-lecture.pdf

11 Offizielle Fernmeldestatistik, www.bakom.admin.ch/dokumentation/zahlen/00744/00746/index.html

Ein frühes Beispiel solcher Befürchtungen ist rund um die 1906 entstandene Kurzwellenfunkstation Nauen bei Berlin dokumentiert¹². Den „verflixten Wellen“ wurde die Schuld an schlechten Ernten und allen möglichen Problemen mit Rind- und Federvieh zugeschrieben.

Die wissenschaftliche Erforschung der physiologischen Wirkungen von EMF hat nach einer Phase der Verbreitung und Akzeptanz von Radiostationen in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts jedoch erst nach dem 2. Weltkrieg so richtig begonnen. Seither wurde in einer Vielzahl von Studien¹³ im ganzen elektromagnetischen Spektrum der Erkenntnisstand laufend verbessert.

In diesem Beitrag wird versucht, eine kurze Übersicht über die aktuelle wissenschaftliche Evidenz zu geben. Da es hier nicht möglich sein wird, den ganzen Bereich des elektromagnetischen Spektrums zu behandeln, wird das Hauptaugenmerk auf die hochfrequenten Felder gelegt, welche in der drahtlosen Kommunikation eingesetzt werden.

Nichtionisierende Strahlung

Spricht man von den physiologischen Auswirkungen von EMF auf den menschlichen Körper, drängt sich zuallererst eine Abgrenzung auf. Aufgrund der Dualität von Welle und Teilchen kann ein EMF auch als ein Schwarm von Photonen beschrieben werden. Während die Energie eines solchen Lichtquants von der Frequenz der Welle abhängt, ist die Intensität des Feldes durch die Anzahl Photonen im Photonenschwarm bestimmt. Mit diesem Konzept kann verstanden werden, warum nicht alle EMF Atome und Moleküle ionisieren können. Die Energie eines Photons beträgt¹⁴:

$$E = h \nu$$

wobei die Proportionalitätskonstante h zwischen Energie und Frequenz eines Photons das Planck'sche Wirkungsquantum ($4.135 \cdot 10^{-15}$ eVs) genannt wird. Vergleicht man nun die Energie der Lichtquanten mit der Bindungsenergie von Molekülen oder Atomen (einige eV) wird klar, dass die Elektronen den Atomen erst durch ultraviolettes Licht entrissen werden können. Die EMF im Frequenzbereich von 0-300 GHz werden daher auch als nicht ionisierende Strahlung bezeichnet.

12 Seit 100 Jahren Funkturm-Gegner, W. Filensky, FGF Newsletter 1 (2006)

13 Siehe www.emf-portal.org

14 Über einen die Erzeugung und Umwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt, A. Einstein, Annalen der Physik, 17, 132 (1905)

Physiologische Wirkungen von nicht ionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper

Physikalisch gesehen ist ein elektrisches Feld über die Eigenschaft der Auswirkung einer Kraft auf eine elektrische Ladung definiert. Aufgrund der Tatsache, dass biologische Organismen im Allgemeinen aus Atomen und Molekülen bestehen, welche wiederum aus elektrisch geladenen Teilen aufgebaut sind, ist die Frage nach einer Einwirkung eines EMF auf biologische Systeme naheliegend. Da niederfrequente (NF) Felder bis 100 kHz und hochfrequente (HF) EMF über 100 kHz unterschiedliche physiologische Wechselwirkungen mit dem Körper hervorrufen, müssen diese zwei Frequenzbereiche hinsichtlich ihrer physiologischen Effekte unterschieden werden.

Niederfrequente Felder: Nervenreizung

Durch NF Felder (<100 kHz) werden sowohl von der magnetischen wie auch von elektrischer Feldkomponente im Körperinneren Ströme induziert. Diese Wirbelströme können ihrerseits Muskel- oder Nervenzellen aktivieren. Direkt auf der Netzhaut induzierte Ströme können Seheindrücke - sogenannte Phosphen - vermitteln, die aber gesundheitlich unbedenklich sind. Bei grösseren Stromdichten kann der Herzrhythmus gestört werden und es kann zu gefährlichem Herzkammerflimmern kommen¹⁵.

Hochfrequente Felder: Der thermische Effekt

Oberhalb von 100 kHz ist die Reizung von Zellen nicht mehr möglich, da sich die Richtung des Feldes im Vergleich mit der Zeitkonstante der Zellreizung zu schnell verändert. Was bei HF Feldern übrig bleibt, ist die Beschleunigung freier Ionen und polarer Moleküle. Eine Sonderstellung nimmt dabei das dipolare Wassermolekül ein, aus welchem der menschliche Körper zu etwa 60 % besteht. Das Wassermolekül wird durch das EMF in eine Rotationsbewegung versetzt, was zu einem Energietransfer des Feldes in das menschliche Gewebe führt. Die Zunahme der kinetischen Energie der Moleküle führt schlussendlich zu einer Erhöhung der Körpertemperatur. Für HF Felder ist daher der thermische Effekt der vorherrschende physiologische Effekt¹⁶.

15 Für eine Übersicht siehe Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz). ICNIRP, Health Physics 99(6):818-836 (2010)

16 Für eine Übersicht siehe: Mechanisms for Interaction Between RF Fields and Biological Tissue, L.J. Challis, Bioelectromagnetics Supplement 7:S98-S106 (2005)

Absorption in Resonanz

Wie die Saite eines Klaviers bei der Anregung durch eine Schallwelle der passenden Frequenz in Schwingung versetzt wird, absorbiert auch der menschliche Körper die Energie aus dem EMF unter der Resonanzbedingung am besten. Mit seiner Ausdehnung von circa 2 m wirkt er bei etwa 75 MHz als gute Antenne. Unter diesen Resonanzbedingungen ist die Erwärmung des ganzen Körpers denn auch am höchsten.

Spezifische Absorptionsrate

Um die Erwärmung des Gewebes in Grenzen zu halten, wird das Konzept der spezifischen Absorptionsrate (SAR) benutzt. Die SAR ist durch die Leistung, welche pro Masseneinheit im Gewebe aufgenommen wird, definiert und wird in der Masseinheit W/kg angegeben. Je höher die SAR desto grösser der mögliche Temperaturanstieg. Durch die Wärmeregulation des Körpers wird bei geringen absorbierten Leistungen die Temperaturzunahme auf einen Plateauwert begrenzt. Überschreitet die Leistung, welche durch den ganzen Körper absorbiert werden muss, einen gewissen Schwellenwert, kann der Körper die Wärme nicht mehr abführen und es treten biologische Effekte auf. Dieser Fall tritt bei einer Ganzkörper SAR von 4 W/kg auf, was einer Erhöhung der mittleren Körpertemperatur von 1°C entspricht. Ab dieser Exposition entstehen erst unspezifische Symptome wie Kopfwahl und Übelkeit. Bei noch höheren SAR Werten können schliesslich gefährliche Blutverklumpungen und die damit verbundenen gravierenden Probleme im Herzkreislaufsystem auftreten.

Grenzwerte: Basis- und Referenzgrenzwerte

Um den Menschen vor solchen Überexpositionen und damit schädlichen Auswirkungen zu schützen, werden die oben beschriebenen physiologischen Effekte im Innern des Körpers durch sogenannte Basisgrenzwerte beschränkt. Diese Grenzwerte beruhen auf einer Bewertung der wissenschaftlichen Arbeiten durch internationale, interdisziplinäre und unabhängige Expertengremien. Dabei werden alle qualitativ genügenden, reproduzierbaren Studien in die Evaluation der wissenschaftlichen Evidenz für eine gesundheitliche Gefährdung einbezogen. Der Nachweis der Kausalität ist dabei ebenso von grosser Wichtigkeit wie auch die Kenntnis des zugrundeliegenden Wirkmechanismus. Nur unter diesen Vorbehalten kann der Grenzwert verlässlich vor gesundheitlichen Schäden schützen. Im Bereich der EMF wird die Aufgabe der Bewertung der wissenschaftlichen

Studien durch die Internationale Kommission zum Schutz vor nicht ionisierender Strahlung (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)¹⁷) wahrgenommen.

Für HF Felder ist der Basisgrenzwert durch die SAR beschrieben. Ist der ganze Körper einem homogenen EMF ausgesetzt, ist der Schwellenwert für eine gefährliche thermische Erwärmung wie oben erwähnt 4 W/kg ¹⁸. Um alle Personen in der Bevölkerung, also auch Schwangere, Kinder und Senioren, zu schützen, wird dieser Wert mit einem Sicherheitsfaktor 50 dividiert. Der Ganzkörpergrenzwert für die Allgemeinbevölkerung beträgt demnach 0.08 W/kg . Häufig, etwa beim mobilen Telefonieren, wird aber nur ein Teil des Körpers exponiert. In diesem Falle sind Absorption und Temperaturanstieg lokal, der Anstieg der Temperatur im ganzen Körper aber nur gering. Daher sind zur Beschränkung lokaler Überexposition auch Teilkörpergrenzwerte für Kopf, Rumpf oder Glieder einzuhalten. So gilt für Handys der Grenzwert von 2 W/kg ¹⁸. Die Hersteller haben die Einhaltung dieses SAR-Wertes für jedes Modell mit einer Messung nach standardisiertem Verfahren¹⁹ im Rahmen der Produktzertifizierung nachzuweisen.

Basisgrenzwerte im Innern des Körpers sind nur in spezialisierten Laboratorien aufwändig zu bestimmen. Daher wurden einfacher messbare, aus den Basisgrenzwerten abgeleitete, äussere Grenzwerte (sogenannte Referenzwerte) festgelegt, bei deren Einhaltung die Basisgrenzwerte auf keinen Fall überschritten werden können. Bestimmt werden Referenzwerte mittels numerischen Modellen.

Die Schweizer Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)²⁰ hat die Referenzgrenzwerte in Anlehnung an die ICNIRP¹⁸ für die Schweiz verbindlich festgelegt. Der Immissionsgrenzwert (IGW) beträgt im Frequenzbereich des Mobilfunks zwischen 41 und 61 V/m. Dies deckt sich mit den meisten nationalen Verordnungen weltweit. Für die Frequenzen im Bereich von 100 MHz (UKW Radio) ist dieser Wert aufgrund des oben geschilderten Resonanzeffektes bei 28 V/m angesiedelt^{18,20}.

Eine Schweizer Besonderheit ist der Anlagegrenzwert (AGW)²⁰, der für örtlich fixe Anlagen des Mobil- oder Rundfunks definiert ist und an Orten

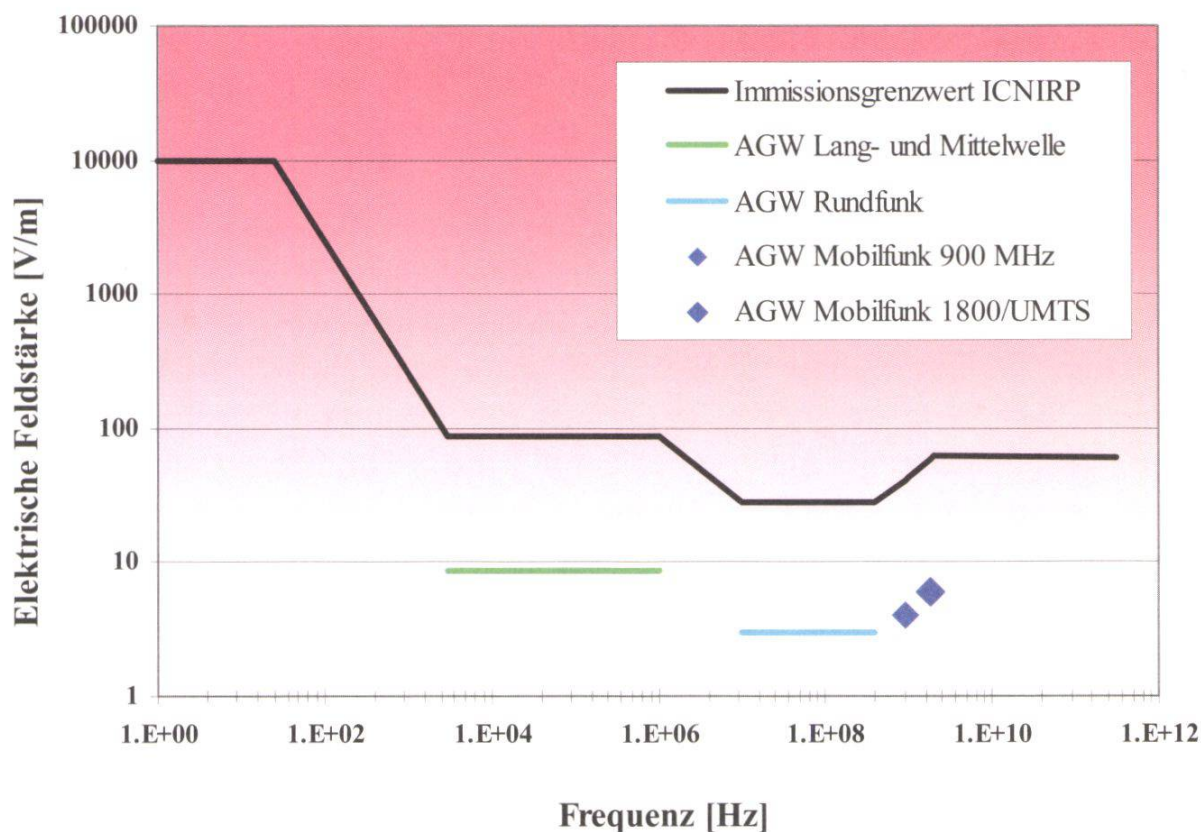
17 Siehe www.icnirp.de

18 Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and EMF (up to 300 GHz), ICNIRP, Health Physics Vol. 74, No 4, 494-522 (1998)

19 EN50361: Grundnorm zur Messung der SAR in Bezug auf die Sicherheit von Personen in EMF von Mobiltelefonen (300MHz – 3 GHz), CENELEC (2001)

20 Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV), www.admin.ch/ch/d/sr/c814_710.html

mit empfindlicher Nutzung (sogenannte OMEN, z.B. Wohnungen, Schulen, Altersheime oder Arbeitsplätze) nicht überschritten werden darf. Der AGW beruht auf dem Vorsorgeprinzip, welches im Schweizerischen Umweltschutzgesetz²¹ festgehalten ist. Diese vorsorgliche Beschränkung beruht auf technischer Machbarkeit sowie wirtschaftlicher Tragbarkeit und hat keinerlei wissenschaftliche Grundlage. Die AGW's für HF Felder betragen ein Zehntel des IGW, im Bereich des Mobilfunks sind dies frequenzabhängig 4, 5 oder 6 V/m und für den Rundfunk 3 V/m.



Figur 1: Grenzwerte für das elektrische Feld in Abhängigkeit der Frequenz des EMF nach ²⁰.

Aktuelle Forschung

In den letzten 50 Jahren sind sowohl die Anzahl wie auch die Qualität der publizierten Forschungsarbeiten im Bereich der möglichen Effekte von EMF auf biologische Organismen stetig angestiegen. So waren auf dem EMF-Portal¹³ Anfangs 2011 mehr als 14'000 Arbeiten im Bereich registriert. Trotz der grossen Vielfalt der Forschungsarbeiten, konnte bisher ausser dem bereits erwähnten thermischen Effekt kein anderer gesundheitsschädlicher Effekt

21 Schweizer Umweltschutzgesetz, www.admin.ch/ch/d/sr/c814_01.html

von HF EMF gefunden werden²². Heute geht es daher vor allem darum, mit den unterschiedlichsten Mitteln herauszufinden, ob und wie schwache EMF über nicht thermische Effekte einen Einfluss auf die biologischen Organismen ausüben könnten.

In-vitro / in-vivo

Dazu werden zum Beispiel Zellkulturen in-vitro einem EMF exponiert und die verschiedensten Endpunkte wie etwa der Einfluss auf den Zellzyklus, Veränderungen der Proteinzusammensetzung, Veränderung der Ionenflüsse oder auch Genotoxizität untersucht. Obwohl in einigen Experimenten zur möglichen genotoxischen Wirkung von EMF Effekte beobachtet worden sind, zeigt die Mehrzahl aller Studien keine solche durch EMF induzierte Wirkung auf Zellen²³.

Da isolierte Zellen nicht gleich reagieren wie im Kontext des gesamten biologischen Organismus, versucht man diesen Artefakten mit Hilfe von Tiermodellen aus dem Weg zu gehen. In in-vivo Studien werden etwa Ratten oder Mäuse während ihres ganzen Lebens einem EMF ausgesetzt. Man untersucht dabei alle möglichen Parameter des gesamten Organismus, viele Studien konzentrieren sich aber auf die Tumorpromotion. Diese umfangreichen und aktuellen Studien zeigen insgesamt keine Tumor promovierende Wirkung von HF EMF auf²⁴.

Humanstudien

Aber auch im Tiermodell stellt sich letztlich die Frage nach der Übertragbarkeit der Resultate auf den Menschen. Daher sind auch Versuche direkt am Menschen wünschenswert. Hier sind allerdings aus ethischen Gründen die experimentellen Möglichkeiten begrenzt. So beschränken sich Studien mit Testpersonen auf nicht invasive und mit aller Wahrscheinlichkeit ungefährliche Studiendesigns. Von Interesse sind etwa der Einfluss von EMF auf die kognitiven Fähigkeiten, die Gehirnströme (EEG) oder das

22 WHO Fact sheet N°304, EMF and public health: Base stations and wireless technologies (2006)

23 Controversial cytogenetic observations in mammalian somatic cells exposed to radiofrequency radiation. Vijayalaxmi and G. Obe, Radiation Research, 162, 481 (2004)

24 Carcinogenicity study of GSM and DCS wireless communication signals in B6C3F1 mice, T. Tillman et al, Bioelectromagnetics 28 (3), 173 - 187 (2007); Chronic exposure to a GSM-like signal (mobile phone) does not stimulate the development of DMBA-induced mammary tumors in rats: results of three consecutive studies, H. Bartsch et al, Radiat Res 157 (2), 183 – 190, (2002)

Herz-Kreislauf-System. Seit einigen Jahren wird in verschiedenen Labors eine geringe Veränderung des EEG's bei der Exposition der Testpersonen mit gepulsten EMF beobachtet²⁵. Wie dieser Effekt vermittelt wird und ob er eine gesundheitliche Relevanz hat, ist allerdings unklar.

Auch der vielfach postulierte Elektrohypersensibilität (EHS) wird in Humanversuchen wissenschaftlich nachgegangen. Die Studien zeigen keinen Zusammenhang zwischen Exposition und geschilderten Symptomen. Glaubt eine Testperson jedoch exponiert zu sein, kann allein dies Symptome auslösen (man spricht in diesem Falle vom sogenannten Nocebo-Effekt)²⁶.

Epidemiologische Studien

Aufgrund der eingeschränkten Möglichkeiten von Laborstudien direkt am Menschen, beschäftigt sich auch die Epidemiologie seit geraumer Zeit mit EMF und möglichen Gesundheitseffekten. Bei diesen Untersuchungen interessieren einerseits allfällige Veränderungen der Krebshäufigkeiten andererseits aber auch generell Fragen nach dem Wohlbefinden. Schwierig ist in diesem Zusammenhang vor allem die Erfassung der Exposition und die korrekte Kategorisierung des Testkollektivs in mehr oder weniger exponierte Gruppen. Die bisher grösste und umfangreichste epidemiologische Studie, die sogenannte Interphone-Studie, wurde 2010 publiziert²⁷. Diese Fall-Kontrollstudie ging mit einem einheitlichen Studiendesign in 13 Ländern der Frage nach, ob die Hirntumorinzidenz beim Handygebrauch zunimmt. Insgesamt wurde kein erhöhtes Risiko für Hirntumore bei Mobilfunknutzung gefunden. Dies ist auch zutreffend für Nutzungsdauern von bis zu 12 Jahren. Einzig für die intensivsten Nutzer, welche die längste kumulierte Gesprächsdauer ausgewiesen haben, gab es schwache Andeutungen für eine Erhöhung der Tumorfrequenz. Aufgrund der Tatsache, dass Tumorkranke dazu neigten, ihren Handygebrauch zu überschätzen und anderen methodischen Problemen sowie dem Fehlen einer Dosis-Wirkungs-Beziehung, lassen diese Resultate laut den Autoren allerdings keine verlässlichen Schlussfolgerungen betreffend intensivster Handynutzung zu.

25 RF EMF and Brain Physiology: Increasing Evidence of Effects on the Waking and Sleep EEG, S.P. Loughran and P. Achermann, Abstract to the 32nd Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, Seoul (2010)

26 Idiopathic Environmental Intolerance Attributed to EMF (Formerly 'Electromagnetic Hypersensitivity'): An Updated Systematic Review of Provocation Studies, Rubin GJ, et al., *Bioelectromagnetics* 31:1-11 (2010)

27 Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study, The INTERPHONE Study Group, *Int. J. Epidemiol.* 39 (3): 675-694 (2010)

Natürlich interessieren sich die Epidemiologen auch für die Exposition durch die Mobilfunknetze. Diese Exposition ist zwar im Allgemeinfall weniger stark, sie ist dafür aber ständig vorhanden. In einer kürzlich publizierten Übersichtarbeit, welche 17 aktuelle Studien bewertet hat, konnte kein Zusammenhang zwischen Exposition und akuten unspezifischen Beschwerden gefunden werden²⁸.

Übersichtsarbeiten

Zwei umfangreiche Übersichtsarbeiten, welche kürzlich von der ICNIRP verfasst worden sind, fassen die Studien der letzten Jahre zusammen²⁹. Diese Reviews haben zu einer aktualisierten Stellungnahme der ICNIRP geführt, in welcher sich die Kommission auf den Standpunkt stellt, dass die Grenzwertempfehlungen aus dem Jahre 1998, auf welchen die meisten internationalen Grenzwerte beruhen, auch heute noch effizient vor allen nachgewiesenen gesundheitlichen Gefährdungen durch EMF schützen³⁰.

Offene Fragen

Trotz der Mannigfaltigkeit der wissenschaftlichen Studienresultate gibt es bezüglich einer abschliessenden Risikobewertung immer noch offene Fragen. Diese offenen Punkte werden durch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) in ihrer Forschungsagenda zusammengefasst³¹. Sie beinhaltet im Wesentlichen die folgenden Punkte:

Um den am Beispiel der Interphone Studie kurz angesprochenen methodischen Problemen von Fallkontrollstudien aus dem Weg zu gehen, empfiehlt die WHO der Frage der Krebshäufigkeit oder neurologischer Probleme mit einer Kohortenstudie nachzugehen. Eine solche prospektive Studie ist denn auch schon geplant: Die Studie Cosmos will mehr als 200'000 Personen während mehreren Jahren verfolgen, den Mobiltelefongebrauch erheben und unter anderem die Krebsinzidenz vergleichen.

28 Systematic review on the health effects of exposure to radiofrequency EMF from mobile phone base stations, Martin Röösli et al, Bulletin of the WHO (2010)

29 Exposure to high frequency EMF, biological effects and health consequences (100 kHz - 300 GHz), ICNIRP (2009); Mobile Phone Use and Brain Tumors - A Review of the Epidemiological Evidence. A. Ahlbom et al, Epidemiology 20:639–652 (2009)

30 Statement on the "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)". ICNIRP, Health Physics 97(3):257-259 (2009)

31 WHO Radio frequency (RF) fields - new 2010 research agenda, www.who.int

Neben der Tumorfrequenz sind auch neurobiologische Mechanismen zum Verständnis möglicher Effekte auf die Gehirnfunktionen, das EEG sowie den Schlaf von grossem Interesse für zukünftige Forschungsarbeiten.

Eine weitere wichtige Frage betrifft die Exposition von Kindern und Jugendlichen. Erstens wird die Lebensexposition durch Mobiltelefone und neue drahtlose Technologien grösser sein als bei den heutigen Erwachsenengenerationen und die Nutzerverhalten werden sich wesentlich unterscheiden. Zweitens stellt sich generell die Frage, ob Kinder empfindlicher auf EMF sind als Erwachsene. In dieser Hinsicht hat man kürzlich einige Fortschritte erzielt. So gibt es heute numerische Körpermodelle für Kinder, Jugendliche und schwangere Frauen und auch die dielektrischen Parameter der Gewebe verschiedenen Alters sind besser bekannt³².

Ein weiterer wichtiger Punkt in der WHO Forschungsagenda ist die Expositionserfassung neuer drahtloser Technologien. Hiermit soll die Grundlage zur Risikobeurteilung für neue Expositionsszenarien geschaffen werden.

Ausblick

Auch wenn viele grosse Forschungsprogramme, wie etwa das Deutsche Mobilfunkforschungsprogramm³³, bereits abgeschlossen worden sind, ist auch in den kommenden Jahren laufend mit der Publikation von einschlägigen Resultaten zu rechnen. Für die Schweiz ist insbesondere das Nationale Forschungsprogramm 57 Nichtionisierende Strahlung (NFP57)³⁴ von Relevanz. Das NFP57 wird 2011 eine Zusammenfassung der 11 finanzierten Projekte veröffentlichen und dabei auch eine Empfehlung für Politik und Gesellschaft zum Umgang mit nicht ionisierender Strahlung in der Umwelt machen. Da das NFP57 sich auf die WHO Forschungsagenda ausgerichtet hatte, sind zu einigen der oben erwähnten, offenen Fragen neue Erkenntnisse zu erwarten.

32 The virtual family – development of surface-based anatomical models of two adults and two children for dosimetric simulations, A. Christ et al., *Physics in Medicine and Biology*, 55(2):N23–N38 (2010); Age-dependent tissue-specific exposure of cell phone users, A. Christ et al, *Physics in Medicine and Biology*, 55(7):1767–1783 (2010)

33 Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm, www.emf-forschungsprogramm.de

34 Nationales Forschungsprogramm 57: www.nfp57.ch

Unter Berücksichtigung auch dieser neuen Resultate, welche die bisherige wissenschaftliche Evidenz ergänzen werden, sind in nächster Zeit gleich drei Stellungnahmen internationaler Expertengremien zu erwarten. Einerseits wird die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) das Risiko einer krebsfördernden Wirkung von Handystrahlung beurteilen. Andererseits ist auch die ICNIRP daran ihre Grenzwertempfehlung aus dem Jahre 1998¹⁸ zu überarbeiten. Unter Berücksichtigung der Resultate von IARC und ICNIRP wird schliesslich die WHO ihre Environmental Health Criteria für HF EMF überarbeiten. Die Resultate dieser Evaluationen können an dieser Stelle nicht vorweg genommen werden. Es deutet aber nichts darauf hin, dass sich die heutige Risikobeurteilung drastisch verändern wird.

Auch wenn die wissenschaftliche Evidenz einen wesentlichen Beitrag zur Risikobeurteilung liefern kann und soll, ist der wissenschaftliche Beweis eines Nullrisikos nicht zu erbringen. Zudem ist der Umgang mit Risiken – ob klein oder gross – ein gesellschaftspolitischer Prozess, der neben der wissenschaftlichen Evidenz eine Vielzahl anderer Parameter berücksichtigt. Schlussendlich ist es das in der Gesellschaft wahrgenommen Risiko sowie die Nutzenwahrnehmung einer Technologie, welche die Risikoakzeptanz massgebend mitbestimmen.

Dennoch ist eine kontinuierliche Technologiefolgenabschätzung unabdingbar. Die Industrie aber auch die Gesellschaft, welche die Technologie nutzt, müssen sich ihrer Verantwortung bewusst sein und auch in Zukunft die notwendigen Grundlagen für eine nachhaltige technologische Entwicklung schaffen.