



Wolfgang Michaelis,
Gerd Friedrich

Bereits in den 90er Jahren wurde die Wichtigkeit koordinierter wissenschaftlicher Forschung im Bereich der gesundheitlichen Wirkungen radiofrequenter elektrischer Felder durch die Weltgesundheitsorganisation WHO erkannt. Nach mehreren Anläufen und mehrfacher Überarbeitung entstand als Grundlage international koordinierter Forschungsprogramme die WHO-Forschungsagenda für den Funkfrequenz (radio-frequency, RF)-Bereich (WHO Research Agenda for Radio Frequency Fields), deren letzte Ausgabe aus dem Jahre 2006 den wichtigsten Forschungsbedarf für die nächsten Jahre definiert.

WHO-Fors Zukünftiger Fors

In den 90er Jahren führte die rasante Verbreitung von Mobilfunkanwendungen und die gleichzeitig zunehmende kontroverse öffentliche Diskussion um mögliche biologische und gesundheitliche Wirkungen elektromagnetischer Felder zu einer erheblichen Zunahme der diesbezüglichen Forschungsaktivitäten. Diese waren zunächst vorwiegend national ausgerichtet. Es stellte sich aber zunehmend heraus, dass die fehlende internationale Abstimmung der national separat durchgeführten Studien teilweise zur Überlappung von Forschungsanstrengungen führte. Der Forschungsfortschritt wurde schon dadurch behindert, dass beginnend mit der Forschungsplanung, also der Identifikation und Priorisierung wissenschaftlicher Forschungsgebiete mit erheblichem Einfluss auf die gesundheitliche Risikobewertung, bis hin zur Festlegung der Kernthemen die zukünftige Forschung international nicht abgestimmt wurde.

Um diesen Mängeln abzuwehren und die internationale Forschung über die möglichen nachteiligen Gesundheitswirkungen von elektromagnetischen Feldern (EMF) zu konkretisieren und zu koordinieren, erstellte das Internationale EMF-Projekt der WHO [1], [2], [3] im Jahre 1997 eine Forschungsagenda als Leitlinie für die zukünftige Forschung in diesem Bereich. In den folgenden Jahren wurde diese Agenda mehrfach überarbeitet und dem aktuellen Forschungsbedarf angepasst. Nach einer grundlegenden Überarbeitung für den Bereich der Funkfrequenzen im Jahre 2003 erfolgte die letzte Aktualisierung im Oktober 2005 durch einen Ad-hoc-Ausschuss wissenschaftlicher Experten. Berücksichtigt wurden dabei der Stand der Forschung sowie die Ergebnisse von spezifischen Workshops¹, in denen der aktuelle Forschungsbedarf im RF-Bereich



chungsprogramm: chungsbedarf bei EMF

reich festgestellt wurde. Die Ergebnisse dieser Workshops wiesen auf gezielten Forschungsbedarf bei Kindern, insbesondere bezüglich Hirntumoren und kognitiver Funktionen, hin. Die Ergebnisse des Workshops zu EMF-Hyperempfindlichkeit (EMF hypersensitivity – EHS) zeigten, dass weitere Forschung notwendig ist, um EHS zu charakterisieren, aber direkt keine weiteren Untersuchungen zur Beziehung zwischen EMF und EHS empfohlen werden, da die bisher durchgeführten Studien keine begründeten Nachweise für eine kausale Beziehung aufgezeigt hatten.

Die Forschung über potenzielle Gesundheitswirkungen der Felder von Mobilfunkbasisstationen wurde mit niedriger Priorität eingestuft, da Studien des Krebsrisikos durch solche Expositionen für kaum durchführbar und wenig informativ gehalten wurden, u. a. wegen der Schwierigkeit, entsprechend langfristige historische Expositionsdaten zu erhalten.

In der Forschungsagenda der WHO [4] werden dann Forschungsthemen mit hoher Priorität eingestuft, wenn die Ergebnisse einen hohen Einfluss auf zukünftige Bewertungen des Gesundheitsrisikos durch EMF-Expositionen im RF-Bereich erwarten lassen und wenn wichtige Lücken insbesondere in den derzeitigen Kenntnissen geschlossen werden oder Unklarheiten wesentlich reduziert werden könnten.

Entsprechend ihrem Gewicht in der Risikobewertung werden folgende wissenschaftliche Bereiche in der Forschungsagenda betrachtet:

- Epidemiologie,
- Laborstudien an Menschen, Tieren und Zellkulturen,
- Biologische Wirkungsmechanismen und Dosimetrie sowie
- Sozialwissenschaftliche Forschungsthemen.

In jedem dieser Bereiche wird unterschieden nach:

- **Forschungsbedarf mit hoher Priorität:** Studien, die wichtige Lücken im Wissen bezüglich der Gesundheitsrisikobewertung schließen und
- **Weiterer Forschungsbedarf:** Studien, die das Verständnis bezüglich der Einflüsse der RF-Exposition auf die Gesundheit erweitern und nützliche Informationen zur Gesundheitsrisikobewertung beitragen.

Epidemiologie

Epidemiologische Studien gehen von einer zu lösenden wissenschaftlichen Fragestellung aus und analysieren die Ursachen unterschiedlicher Verteilungen von Krankheits- und Befundhäufigkeiten. Sie können **retro- oder prospektiv** (rückblickend oder vorausschauend) angelegt sein. Zu den epidemiologischen Studientypen gehören

- **Kohortenstudien**

Sie untersuchen über eine bestimmte (längere) Beobachtungszeit eine definierte Gruppe (Kohorte) in Bezug auf einen Risikofaktor (z. B. Auftreten einer Krebserkrankung) unter bestimmten Randbedingungen (z. B. mit oder ohne Exposition). **Prospektive** Kohortenstudien verfolgen die Krankheitsentwicklung in der Gruppe von einem Anfangszustand ausgehend in die Zukunft mit, **retrospektive** Kohortenstudien gehen von bereits abgeschlossenen Beobachtungen und bekanntem Krankheitsstatus aus. Sie sind leichter und kostengünstiger durchführbar, unterliegen aber auch typischen systematischen Fehlern, z. B. bei der Gruppenauswahl und bei Erinnerungsauswertungen (Selection- und Recall-Bias).

- **Fallkontrollstudien**

Sie gehen von bekanntem Krankheitsstatus aus und versuchen bei teilweise unbekanntem Randbedingun-

gen (Exposition und weitere Einflüsse) auf Zusammenhänge mit Erkrankungsrisiken rückzuschließen. Fallkontrollstudien sind insbesondere geeignet für seltene Erkrankungen. (Eine Kohortenstudie müsste sehr viele Teilnehmer haben, um statistisch relevante Ergebnisse zu liefern.)

Epidemiologische Studien sind von primärer Bedeutung für die gesundheitliche Risikobewertung durch Expositionen im RF-Bereich. Mehrere solcher Studien werden derzeit durchgeführt oder vorbereitet, darunter die INTERPHONE-Studie², deren internationale Ergebnisse voraussichtlich 2007/2008 veröffentlicht werden. Als Fallkontrollstudie ist sie für die Untersuchung seltener Krankheiten wie z.B. der Hirntumore sehr gut geeignet. Bisher wurden seitens der WHO etwa 6000 Fälle (bei Menschen im Alter von 30 – 59 Jahren in 13 Ländern) aus einer Gesamtbevölkerung von mehreren Zehnmillionen Personen registriert.

Als **Forschungsbedarf mit hoher Priorität** wird empfohlen:

1. Eine große prospektive Längsschnitt³-Kohortenstudie von Mobiltelefonnutzern, die sowohl Vorkommenshäufigkeit als auch Sterblichkeitsdaten umfasst. Der Hauptvorteil einer solchen Studie besteht darin, dass sie einen großen Bereich möglicher Gesundheitseinwirkungen einbeziehen kann. Eine solche Studie minimiert die Wahrscheinlichkeit verfälschender Einflüsse wie Recall- und Selection-Bias und die Beurteilung des Einflusses erlaubt längere Latenzzeiten. Außerdem können neue, durch andere Forschungstätigkeiten aufgebrachte Endpunkte noch während der Durchführung der Studie aufgenommen werden. Die Aussagekraft einer solchen Studie könnte durch Vergrößerung der Studiengruppe im Rahmen internationaler Kollaboration noch weiter erhöht werden.

2. Eine großangelegte multinationale Fallkontrollstudie des Hirnkrebsrisikos durch Mobiltelefongebrauch bei Kindern und Jugendlichen, da bisher wenige relevante epidemiologische oder Laborstudien die möglichen Wirkungen von RF-Expositionen auf Kinder untersucht haben (die INTERPHONE-Studie umfasste keine Kinder, da die Anzahl langfristiger Mobilfunknutzer unter Kindern zu Beginn der Studie zu niedrig war, um tragfähige Ergebnisse erwarten zu lassen). Wegen des weit verbreiteten Gebrauches von Mobiltelefonen unter Kindern und Jugendlichen ist die Untersuchung der potenziellen Wirkungen von RF-Feldern auf die Entwicklung von Kindheitsgehirntumoren notwendig. Das Auftreten von Hirntumoren ist bei Ju-

gendlichen aber ziemlich selten, folglich ist die Durchführung einer Fallkontrollstudie effektiver und kostengünstiger als die einer Kohortenstudie.

Weiterer Forschungsbedarf: Wegen der Wichtigkeit der kognitiven geistigen Anlagen und der Lernfähigkeit in der frühen Entwicklung besteht weiterer Forschungsbedarf in Bezug auf eine prospektive Kohortenstudie jugendlicher Mobilfunknutzer in Bezug auf kognitive Effekte und Wirkungen auf die Schlaf-Qualität.

Darüber hinaus werden groß angelegte Studien im Zusammenhang mit beruflichen RF-Expositionen empfohlen, da in diesen Fällen höhere Expositionsintensitäten und Einwirkungsdauern sowie höhere ICNIRP-Grenzwertempfehlungen gelten und häufig große Körperbereiche betroffen sind. Es werden aus solchen Studien Ergebnisse erwartet, die Rückschlüsse auf allgemeine Gesundheitsrisiken bei geringeren Expositionsbelastungen erlauben.

Darüber hinaus wird die Durchführung von Studien zur Erfassung und Beurteilung der Gesamtexposition der Bevölkerung durch sämtliche RF-Feldquellen empfohlen, die sowohl das private als auch das berufliche Umfeld umfassen, um Hinweise auf das Design zukünftiger epidemiologischer Studien zu erhalten.

Laborstudien an Menschen, Tieren und Zellkulturen

Menschliche Laborstudien erlauben eine direkte Untersuchung der Wirkungen von RF-Feldern auf Menschen unter kontrollierten experimentellen Parametern. Damit entfällt die Unsicherheit der Übertragbarkeit von Studienergebnissen an Tieren und Zellkulturen auf Menschen. Andererseits muss für das Versuchsdesign besondere Sorgfalt aufgewendet werden, um gesundheitliche Schädigungen zu vermeiden. Die Versuche sollten unter „Worst-Case“ Bedingungen ausgeführt werden (höchste SAR-Werte nahe der zulässigen Grenzwerte). Um Verfälschungen der Ergebnisse zu vermeiden, sollte die Testdurchführung einschließlich aller relevanten Randbedingungen (Alter und Geschlecht der Testpersonen, Expositionsbedingungen,...) genau dokumentiert und die Messungen unter Doppelblind-Bedingungen durchgeführt werden. Die Wahrnehmung der Exposition (durch Wärme oder akustische Geräusche) muss dabei verhindert werden.

Hohe Priorität in der Humanforschung hat vor allem die Untersuchung der Wirkung der Expositionen durch RF-Felder auf die Wahrnehmung und das EEG von Kindern. Entsprechende Empfehlungen waren auch

das Ergebnis des WHO-Workshops in Istanbul [5]. Diese Empfehlungen wurden als „New Children’s EMF Research Agenda“ durch die WHO veröffentlicht [6],[7] **Tierstudien** sollten vor allem dann durchgeführt werden, wenn es nicht ethisch oder nicht praktikabel ist, entsprechende Studien an Menschen durchzuführen; sie haben den Vorteil, dass die experimentellen Bedingungen auch in Langzeitexpositionen (ggf. sogar über mehrere Generationen) streng kontrolliert werden können. Forschungsbedarf hoher Priorität liegt vor allem in Bezug auf die Untersuchung der Wirkungen von Expositionen durch RF-Felder auf unreife Tiere bezüglich Entwicklung und Reifung des zentralen Nervensystems sowie auf die Entwicklung der Blutbildungs- und Immunsysteme vor. Mit diesen Systemen werden die potenziell empfindlichsten Organe und Gewebe betrachtet, die sich während der Kindheit entwickeln. Die Experimente sollten nach Möglichkeit so gestaltet werden, dass sie Rückschlüsse auf den Zusammenhang zwischen RF-Expositionen und Tialter erlauben.

(Viele detaillierte Informationen zu laufenden und abgeschlossenen Tierstudien können aus der WHO-Datenbank [8] oder über das EMF-Portal (Femu-Datenbank) [9] abgerufen werden.)

In-vitro Studien an Geweben, lebenden Zellen und zellfreien Systemen spielen eine unterstützende Rolle bei Gesundheitsrisikobewertungen. Sie sind wichtig für Plausibilitätstests mechanistischer Hypothesen und zur Überprüfung möglicher Wechselwirkungen zwischen RF-Expositionen und biologischem Material. Es gibt mehrere kürzlich vollendete oder laufende Studien (zu Genotoxizität, Apoptose usw.), die größtenteils keine Wirkungen feststellen konnten. Der größte Nutzen von In-vitro-Studien liegt darin, zu prüfen, ob es irgendwelche reproduzierbaren biologischen Effekte bei Signalen niedriger Intensität gibt, die signal- und/oder zellspezifisch sind. Hier interessiert insbesondere ein möglicher Zusammenhang mit Krebs (z. B. Genotoxizität) oder Wirkungen auf das Nervensystem.

Als Forschungsbedarf hoher Priorität wird die Durchführung von Replikationsstudien zu kürzlich berichteten Ergebnissen bezüglich Schäden an DNA und Heat Shock Proteinen (HSP) bei Exposition mit niedrigen Intensitäten (unter 2 W/kg) beurteilt.

Weiterer Forschungsbedarf besteht laut WHO-Forschungsagenda bezüglich der Wirkungen von RF-Feldern auf die Zelldifferenzierung z.B. während der Blutbildung im Knochenmark sowie auf das Nervenzellenwachstum.

Mechanismen

Die bisher einzigen bekannten und überprüfbaren Mechanismen, die im Zusammenhang mit der Exposition durch RF-Felder zu Gesundheitsfolgen führen können, werden durch Temperaturerhöhung und Induktion elektrischer Ströme und Felder verursacht. Für andere vermutete Mechanismen gibt es keine Beweise, dass sie zu Gesundheitswirkungen führen.

Es gibt zur Zeit einige laufende experimentelle Projekte über „Mechanismen“. Man erforscht u. a. die Frage, ob es in biologischem Material durch nichtlineare Reaktion auf RF-Felder möglich ist, RF-Signale zu demodulieren und daher elektrische Ströme im niederfrequenten ELF-Bereich (Frequenzbereich 30 – 300 Hz) zu erzeugen. Das könnte bedeutsam sein, da im Zentralnervensystem ebenfalls Signale in diesem Frequenzbereich vorkommen.

Da zunächst die Ergebnisse der laufenden Studien abzuwarten sind, wird derzeit kein Forschungsbedarf hoher Priorität bei der weiteren Erforschung der biologischen Mechanismen gesehen.

Dosimetrie

Exakte Dosimetrie ist eine Grundvoraussetzung für die korrekte und erfolgreiche Durchführung bzw. Auswertung experimenteller Expositionsstudien. Ziele aktueller Forschungen im Bereich Dosimetrie bestehen derzeit im Design von Expositionseinrichtungen für frei laufende Tiere, der Verbesserung unseres Wissens zu dielektrischen Gewebeeigenschaften und der Modellierung der SAR Verteilung bei Kindern und schwangeren Frauen.

Hohe Priorität hat die weitere Erkundung der persönlichen Expositionsbelastungen durch die Summe aller einwirkenden RF-Feldquellen. Interessant ist insbesondere bei Kindern und schwangeren Frauen das persönliche Nutzungsverhalten (Dosimetrie).

Weitere Forschung sollte der Verbesserung von Phantommodellen von Kindern verschiedenen Alters und schwangeren Frauen sowie der Ermittlung der Energieabsorption und -dissipation eingestrahelter Felder bei Tieren und Menschen gelten. Die Modelle sollten die thermoregulativen Reaktionen der Menschen berücksichtigen. Weiterer Forschungsbedarf besteht u.a. in der Mikro-Dosimetrie-Forschung (d. h. auf zellularem oder subzellularem Niveau), die neue Erkenntnisse über Feldverteilungen in kleinen Maßstäben und Folgen von nicht gleichförmigen Feldverteilungen auf der Ebene subzellularer Strukturen liefern könnte.

Sozialwissenschaftliche Themen

Die öffentliche Besorgnis über mögliche nachteilige Gesundheitswirkungen durch die RF-Felder mobiler Kommunikationstechnologien beeinflusst das Risikomanagement und die öffentliche Akzeptanz wissenschaftlicher Gesundheitsrisikobewertungen. Vernünftiges Risikomanagement sollte sowohl auf der Grundlage fundierter wissenschaftlicher Risikobewertungen als auch auf Erkenntnissen basieren, die aus sozialwissenschaftlichen Studien stammen, die diese weit verbreiteten Bedenken, ihre Entstehungsursachen, Wirkungen und ihre Rolle in der Risikokommunikation untersuchen.

Nach Meinung der WHO wurden relativ wenige Studien bisher zu RF-Risikowahrnehmung und -Risikokommunikation durchgeführt. Bisher veröffentlichte Studien haben Einflüsse des Risikomanagements, von Risikokommunikationsstrategien auf die Konfliktlösung, individuelle Risikowahrnehmung einschließlich Risikobewertung, die Wahrnehmung von politischen Maßnahmen (z. B. Vorsorgeprinzip) und soziale und psychologische Determinanten der Risikowahrnehmung untersucht. Die gegenwärtige Forschung umfasst u. a. nationale Bestandsaufnahmen zu Wahrnehmung und Einschätzung von RF-Risiken durch die breite Öffentlichkeit (in mehreren Ländern in Arbeit) und Untersuchungen der Faktoren, die die Risikowahrnehmung bestimmen. In Studien soll auch die Rolle von wissenschaftlichen Beweisen und wissenschaftlichen Unsicherheiten untersucht werden.

Forschungsbedarf wird u. a. noch zu folgenden Themen gesehen:

- Risikowahrnehmung von Einzelpersonen, einschließlich Studien zur Entwicklung von Meinungen und Wahrnehmungen über die Beziehung zwischen RF-Exposition und Gesundheit.
- Bewertung des Einflusses von Vorsorgemaßnahmen auf die öffentliche Besorgnis
- Bewertung der Rolle von Gesundheitsdefinitionen (Wohlbefinden) und anderer wichtiger Konzepte im Bereich der RF-Risikokommunikation in Bezug auf Risikowahrnehmungs- und Risikomanagementstrategien.

- Bewertung des Erfolges von Programmen zur Beteiligung von Interessengruppen und der Öffentlichkeit in verschiedenen Ländern.

Dr.-Ing. Gerd Friedrich, Dipl.-Ing. Wolfgang Michaelis

Eine nicht-autorisierte deutsche Übersetzung der WHO-Forschungsagenda für den Radiofrequenzbereich kann auf den Internet-Seiten der FGF nachgelesen werden.

<http://www.fgf.de/fup/publikat/newsletter2007.html>

Weitere Informationen, Internet-Links:

- [1] Homepage der WHO: <http://www.who.int/en/>
- [2] Homepage des EMF-Projektes: <http://www.who.int/peh-emf/project/en/>
- [3] Das Internationale EMF-Projekt der WHO, FGF-Newsletter 2/2006 S. 4-7
<http://www.fgf.de/fup/publikat/newsletter2006.html>
- [4] RF Research Agenda der WHO, 2006, [http://www.who.int/peh-emf/en/\(Research\)](http://www.who.int/peh-emf/en/(Research))
- [5] Workshop: Sensitivity of Children to EMF Exposure, (Istanbul), [http://www.who.int/peh-emf/en/\(Meetings,Meetings2004-2005\)](http://www.who.int/peh-emf/en/(Meetings,Meetings2004-2005))
- [6] Forschungsempfehlungen der WHO zum Thema EMF und Kinder „New Children’s EMF Research Agenda“, Eine Zusammenfassung des Deutschen Bundesamts für Strahlenschutz (2006) [http://www.emf-forschungsprogramm.de/\(InternationaleForschung,WirkungenaufMenschundTier,Forschungsempfehlungen derWHO\)](http://www.emf-forschungsprogramm.de/(InternationaleForschung,WirkungenaufMenschundTier,Forschungsempfehlungen derWHO))
- [7] New Children’s EMF Research Agenda der WHO <http://www.who.int/peh-emf/research/children/en>
- [8] EMF Research Database: <http://www.who.int/peh-emf/research/database/en/index.html>
- [9] EMF-Portal des Forschungszentrums für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH): <http://www.emf-portal.de/>
- [10] Workshop “Application of Proteomics and Transcriptomics in EMF Research“, (Helsinki), http://www.cost281.org/documents.php?node=99&dir_session=
- [11] Omics in der Forschung zu Feldeffekten, FGF-Newsletter 04/2005, S. 4-13

Fußnoten

- 1 Workshops: „Kinder und EMF“ Istanbul, Türkei, im Juni 2004, „EMF-Hyperempfindlichkeit“ Prag, Tschechien, im Oktober 2004; und „Basisstationen und drahtlose Netzwerke: Expositionen und Gesundheitsrisiken“ Genf, Schweiz, im Juni 2005.
- 2 Das Projekt „INTERPHONE“ ist ein weltweites umfangreiches Forschungsvorhaben zur Untersuchung, ob zwischen regelmäßigen und langjährigen Gebrauch von Mobiltelefonen und dem Auftreten von Hirntumoren ein Zusammenhang besteht. (Siehe auch NL 02/2003)
- 3 Längsschnittstudien sind Studien, die über einen längeren Zeitraum hinweg regelmäßig Daten der Studienpopulation erheben (im Gegensatz zu Querschnittstudien, die zu einem festen Zeitpunkt eine „Momentaufnahme“ betrachten)