

# WHO

## Forschungs-Agenda 2006 für Funkfrequenz-Felder (RF, Radio Frequency)



### Einführung

Im Jahre 1997 entwickelte das Internationale EMF-Projekt der WHO eine Forschungsagenda, um die internationale Forschung über die möglichen nachteiligen Gesundheitswirkungen von elektromagnetischen Feldern (EMF) zu erleichtern und zu koordinieren. In nachfolgenden Jahren hat diese Agenda periodische Revisionen und Verbesserungen erfahren.

Im Juni 2003 wurde eine umfassende Aktualisierung zum Hochfrequenz-Teil (Radio Frequency, RF) der Forschungsagenda durch einen Ad-Hoc-Ausschuss eingeladener wissenschaftlicher Experten unternommen. Seitdem ist ein Teil des Forschungsbedarfs bearbeitet worden, eine Überarbeitung der Forschungsagenda wurde deshalb für notwendig gehalten. Außerdem sind seit 2003 drei spezialisierte Workshops<sup>1</sup> durchgeführt worden, in denen der Forschungsbedarf im RF-Bereich präzisiert wurde. Diese Erkenntnisse sind im Oktober 2005 durch einen Ad-Hoc-Ausschuss wissenschaftlicher Experten in die gegenwärtige RF-Forschungsagenda eingearbeitet worden, die damit alle vorherigen RF-Forschungsagenden ersetzt.

Die thematischen Workshops wiesen auf gezielten Forschungsbedarf bei Kindern, insbesondere bezüglich Hirnkrebs und kognitiver Funktionen, hin. Der Workshop zu EMF Hypersensitivität (EMF hypersensitivity – EHS) zeigte an, dass weitere Forschung notwendig ist, um EHS zu charakterisieren, empfahl aber keine weiteren Studien zur Beziehung zwischen EMF und EHS, da die bisher durchgeführten Studien keine begründeten Nachweise für eine kausale Beziehung aufgezeigt hatten. Die Forschung über potenzielle Gesundheitswirkungen der RF-Felder von Basisstationen wurde mit niedriger Priorität eingestuft, da Studien des Krebsrisikos durch solche Expositionen für kaum durchführbar und wenig informativ gehalten wurden wegen der Schwierigkeit, entsprechend langfristige historische Expositionsdaten zu erhalten.

Forscher sollten die Forschungsagenda als Richtschnur für Studien verwenden, die großen Wert für Gesundheitsrisikobewertungen haben. Um die Wirksamkeit von großen Forschungsprogrammen zu maximieren, werden Regierungen und Industriefinanzierungsagenturen angeregt, die WHO Forschungsagenda koordiniert anzugehen. Solche Koordination wird unnötige Verdoppelung der Forschungsanstrengungen minimieren und wird den möglichst frühzeitigen Abschluss derjenigen Studien sicher stellen, die hohe Priorität für die Risikobewertung haben.

Die RF-Forschungsagenda definiert Forschung mit „hoher Priorität“, wenn deren Ergebnisse erheblich zu zukünftigen Gesundheitsrisikobewertungen der RF-Expositionen beitragen würden. Das Dokument ist in aufeinander folgende Abschnitte gegliedert entsprechend dem Wert, welcher der Forschungstätigkeit in der menschlichen Gesundheitsrisikobewertung zugemessen wird: Epidemiologie, Laborstudien an Menschen, Tieren, Zellsystemen und Mechanismen. Es sollte erkannt werden, dass,

während epidemiologische und menschliche Laborstudien direkt Endpunkte in Bezug auf die menschliche Gesundheit behandeln, Zell- und Tierstudien wichtig sind für die Beurteilung von Kausalitäten und biologischen Plausibilitäten. Die Dosimetrie wird getrennt betrachtet, ist aber für die gesamte Forschung wichtig.

Sozialwissenschaftliche Forschungsthemen sind zum ersten Mal in dieser Forschungsagenda enthalten, da es notwendig ist, die Risikowahrnehmung der breiten Öffentlichkeit besser zu verstehen und die Kommunikation über RF und Gesundheitsprobleme zu verbessern.

In jedem Abschnitt wird eine kurze Zusammenfassung der aktuellen Forschung<sup>2</sup> zusammen mit relevanten übergreifenden Sachverhalten zur Verfügung gestellt, die bei Design und Analyse experimenteller oder epidemiologischer Studien bedacht werden sollten. Die Forschungsaktivitäten werden folgendermaßen priorisiert:

**Forschungsbedarf mit hoher Priorität:** Studien, die wichtige Wissenslücken bezüglich der Gesundheitsrisikobewertung schließen, mit denen derzeit bestehende Unklarheiten im wissenschaftlichen Kenntnisstand deutlich reduziert werden.

**Weiterer Forschungsbedarf:** Studien, die das Verständnis bezüglich der Einflüsse der RF Exposition auf die Gesundheit unterstützen und nützliche Informationen zur Gesundheitsrisikobewertung beitragen.

Richtlinien bezüglich der Qualität der EMF-Forschung sind im Internet verfügbar unter: <http://www.who.int/peh-emf/research/agenda/en/index2.html>  
<http://www.icnirp.org/documents/philosophy.pdf> (Anhang)

## Epidemiologie

Epidemiologische Studien sind von primärer Wichtigkeit in der Gesundheitsrisikobewertung. Mehrere epidemiologische Studien über Gesundheitsauswirkungen von RF-Expositionen sind zurzeit in Vorbereitung. Sie umfassen:

- INTERPHONE – Eine internationale Fallkontroll-Studie über Gehirntumore und Tumore der parotid-gland (Ohrspeicheldrüse) wird in 13 Ländern durchgeführt. Einige Ergebnisse nationaler Analysen wurden bereits veröffentlicht und die Ergebnisse der internationalen Analysen werden 2006 erwartet. Informationen über berufliche Expositionen durch RF-Felder sind innerhalb der Studie gesammelt worden.
- Eine internationale Kohorten-Studie über Mobiltelefonnutzer beginnt mit einer Teilfinanzierung in einigen europäischen Ländern.
- Fallkontrollstudien bezüglich Hirnkrebs bei Kindern und Jugendlichen werden in einigen europäischen Ländern vorbereitet.
- Entwicklung und Pilottest eines Personen- Dosimeters für die personenbezogene Risikobewertung der Exposition durch RF-Felder verschiedener Frequenzen (einschließlich Basisstationen und Mobiltelefone).
- Eine Fallkontrollstudie bezüglich Kindheitskrebs innerhalb einer Kohortenstudie über Kinder, die nahe festen Feldquellen leben (Fernsehen und Funkendetürme) wird in Deutschland vorbereitet, während eine ähnliche Studie im Zusammenhang mit Basisstationen in Großbritannien durchgeführt wird.

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> Weitere Informationen bezüglich laufender und kürzlich beendeter Studien sind in der WHO-Forschungsdatenbank verfügbar (<http://www.who.int/peh-emf/research/database/en/index.html>).

- In Australien wird eine Kohorten-Studie 13-jährige Jugendliche für drei Jahre beobachten und nach Beziehungen zwischen ihrer Mobiltelefon-Nutzungshäufigkeit und mehreren Endpunkten suchen (wie Wahrnehmung und Hören).

Es wird erwartet, dass die INTERPHONE-Studie wesentliche Daten zur Entscheidung liefern wird, ob es eine Beziehung zwischen Mobiltelefonnutzung und Kopf- bzw. Halskrebs gibt. Als Fallkontrollstudie ist sie für die Studie seltener Krankheiten wie Hirntumoren sehr gut geeignet, da bisher etwa 6000 Fälle bei Menschen im Alter von 30 – 59 Jahren in 13 Ländern gesammelt wurden, die eine Gesamtbevölkerung von mehreren Zehnmillionen Personen umfassen. Dieser Studientyp erlaubt es, die Stärke statistischer Auswertungen für seltene Krankheiten bei relativ niedrigen Kosten zu maximieren und dabei detaillierte Informationen über Expositionshistorie und mögliche Confounding-Faktoren zu sammeln. Jedoch können nur vorherbestimmte Endpunkte untersucht werden.

Um diese Einschränkung zu mildern, müssen groß angelegte Kohorten-Studien durchgeführt werden, die die Untersuchung einer breiten Reihe von Gesundheitsendpunkten (z. B. andere Krebs- und neurodegenerative Erkrankungen) erlauben. Darüber hinaus können in einer Kohorten-Studie neue, durch andere Forschungstätigkeiten aufkommende Endpunkte sogar während der Durchführung einer Studie noch aufgenommen werden und die Wirkungen neuer Technologien (z. B. digital, 3G, und von neuen Modulationstechniken) können normalerweise integriert (oder verfolgt) werden. Prospektive Kohorten-Studien stehen deshalb als „Kontroll“-Werkzeug zur Verfügung und sind gegenüber Fallkontroll-Studien im Vorteil, da sie die für diese retrospektiven Studien typischen Fehlerquellen wie Recall- und Selection-Bias (Erinnerungsfehler und Gruppenauswahleffekte) vermeiden.

Bei der Planung epidemiologischer Studien sollten Forscher internationale Koordination und Kollaboration in Betracht ziehen, um die Vergrößerung der statistischen Auswertung (statistical power) in der Beurteilung kleiner Risiken und in der Beurteilung der Rolle von Expositionsmustern in verschiedenen Ländern zu maximieren. Studien sollten sich nicht nur auf Krebs sondern auch auf nicht kanzerogene-Endpunkte (z. B. chronische Krankheiten wie neurodegenerative Krankheiten, Schlaf-Störungen) konzentrieren. Besondere Aufmerksamkeit sollte angemessenen Expositionsabschätzungen aller relevanten Quellen gelten.

### Forschungsbedarf mit hoher Priorität

- Eine große prospektive Längsschnitt-Kohortenstudie von Mobiltelefonnutzern, die sowohl Häufigkeits- als auch Sterblichkeitsdaten umfasst.

Begründung: Die Hauptstärke von solchen Studien ist es, dass sie einen weiten Bereich von Aspekten ansprechen. Solche Studien minimieren die Möglichkeiten von Verfälschungen im Erinnerungsvermögen und der Auswahl und erlauben eher die Beurteilung von Langzeiteffekten, als dies mit den derzeit verfügbaren Studien möglich ist. Darüberhinaus können neue Endpunkte, die von anderen Forschungsaktivitäten hervorgebracht wurden, selbst noch während der Durchführung der Studie einbezogen werden.

Anmerkung: Obwohl solch eine Studie in Europa bereits durchgeführt wird, könnte sie durch Vergrößerung der Kohorte durch eine zusätzliche breitere internationale Zusammenarbeit und Finanzierung erheblich gestärkt werden.

- Eine groß angelegte multinationale Fallkontroll-Studie des Hirnkrebsrisikos bei Kindern und Jugendlichen in Bezug auf den Mobiltelefongebrauch, im Anschluss an eine Durchführbarkeitsstudie. (feasibility study)

Begründung: Wenige relevante epidemiologische oder Laborstudien haben die möglichen Wirkungen von RF-Expositionen auf Kinder untersucht [die INTERPHONE-Studie umfasste keine Kinder, da die Anzahl langfristiger Mobilfunknutzer unter Kindern zu Beginn der Studie zu niedrig war, um in einer solchen Studie aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten]. Wegen des weit verbreiteten Gebrauches von Mobiltelefonen unter Kindern und Jugendlichen und relativ hohen Expositionen des Gehirns ist die Untersuchung der potenziellen Wirkungen von RF-Feldern auf die Entwicklung von Kindheitsgehirntumoren berechtigt. Hirnkrebs ist bei jungen Menschen ziemlich selten, folglich kann er nicht mit der angebrachten Aussagekraft in einer Kohorten-Studie untersucht werden. Eine Fallkontroll-Studie ist ein effektiverer Ansatz.

### Weiterer Forschungsbedarf

- Groß angelegte Studien über Probanden mit hoher beruflicher RF-Exposition, einschließlich Kohortenstudien sowie der Nutzung der beruflichen RF-Expositionsdaten innerhalb bestehender umfangreicher Fallkontrollstudien.

Begründung: Mitarbeiter, die RF-Feldern ausgesetzt sind, erhalten in einigen Berufen hohe Expositionen (häufig in großen Körperbereichen und manchmal die ICNIRP-Richtlinien überschreitend). So können diese Gruppen gut geeignet sein, um zu bewerten, ob eine Gesundheitswirkung durch RF-Expositionen besteht. Eine besondere Aufmerksamkeit muss jedoch der Expositionsmessung gewidmet werden.

- Prospektive Kohorten-Studie von Kindern und jugendlichen Mobiltelefonbenutzern und allen Gesundheitswirkungen außer Gehirnkrebs, wie kognitive Effekte und Wirkungen auf die Schlaf-Qualität.

Begründung: Kognitive Effekte und andere allgemeine Gesundheitsbeeinflussungen sind vereinzelt von Mobiltelefonbenutzern gemeldet worden. Diese Endpunkte sind kritisch für Kinder wegen der Wichtigkeit der kognitiven geistigen Anlagen und der Lernfähigkeit in der frühen Entwicklung. Die Wirkungen können mit einer prospektiven Kohortenstudie von Kindern bewertet werden.

Aus mehreren Gründen ist eine besondere Studie über Kinder notwendig, die nicht mit einer Kohortenstudie über Erwachsene verbunden werden kann. Da sowohl die Endpunkte als auch die verwendeten Methoden verschieden wären, würde es keinen Vorteil in der Koordination der Studien geben. Eine Studie über Kinder und Jugendliche würde sich auf Folgen wie Schlafstörungen, Kopfschmerzen usw. konzentrieren, während eine Kohortenstudie über Erwachsene auch Folgen umfassen würde, die in höherem Alter allgemein verbreitet sind wie Krebs und neurodegenerative Erkrankungen, Folgen, die in einer jungen Population nicht studiert werden können, wenn die Kohorte nicht äußerst groß ist (nicht sehr effizient und sehr kostspielig). Die Methoden (z. B. Fragebogen) werden sich auch gemäß dem Alter und den Endpunkten ändern und ebenfalls die Auswahl der Teilnehmer (z. B. Identifizierung von Erwachsenen durch Unterschriftslisten und von Kindern durch Schulen).

- Studien zur Einschätzung der Bevölkerungsexposition durch alle RF-Quellen.  
Begründung: Solche Studien müssen in Zusammenarbeit zwischen Epidemiologen, Physikern und Ingenieuren durchgeführt werden. Die Studien sollten sich auf die allgemeine Bevölkerung konzentrieren und sollten zum Beispiel den relativen Expositionsanteil im beruflichen und privaten Umfeld umfassen, sowie den Einfluss von Alter, Geschlecht und Mobilität berücksichtigen. Regionale Variationen müssen ebenfalls bewertet werden. Diese Studien werden Aufschluss über die Durchführbarkeit zukünftiger epidemiologischer Studien geben und, wenn angebracht, über das richtige Design epidemiologischer Studien in Wohnbereichen.

## Studien an Menschen und Tieren

### Humanstudien

Menschliche Laborstudien erlauben die Untersuchung von RF-Wirkungen auf Menschen unter Kontrolle der experimentellen Parameter, sind aber auf Untersuchungen akuter vorübergehender Effekte beschränkt.

Zurzeit laufende oder kürzlich vollendete Studien beinhalten:

- Wirkungen der RF-Exposition auf Reaktionszeiten und auf die Gedächtnisleistung bei Kindern (zwei vollendete Studien)
- Zwei Studien über Wahrnehmung und Thermophysiologie bei Erwachsenen (Großbritannien, Finnland) und Kindern (Australien, Finnland)
- Mehrere Studien der Uppsala Universität in Schweden über subjektive Symptome, physiologische Reaktionen, Aufmerksamkeit, Leistungsfähigkeit und Schlaf
- Eine Studie über EEG, örtliche Gehirndurchblutung und Schlaf bei Erwachsenen in der Schweiz
- Vier Studien über Wahrnehmung und Wohlbefinden bei Erwachsenen mit und ohne selbst berichteten Symptomen, einschließlich Replikation der TNO-Studie in Großbritannien, der Schweiz, Dänemark und Japan
- Studien zu Gehör und Hörwahrnehmung in Finnland, Deutschland, Großbritannien, Türkei, Italien, Frankreich, Russland, Polen, Griechenland, Litauen und Japan
- Mehrere Studien bei erwachsenen Tetra-Nutzern in Großbritannien und Dänemark
- EMF-Wahrnehmung bei Erwachsenen mit selbst empfundenen Symptomen in Deutschland (abgeschlossen)

Bei der Planung von Laborstudien zu RF-Expositionen an Menschen sollte besondere Aufmerksamkeit auf die Erstellung geeigneter Protokolle gelegt werden, die Designfehler vermeiden, die sich auf einige bisher veröffentlichte Studien ausgewirkt haben können. Das experimentelle Design für menschliche Laborstudien sollte auch Testparameter berücksichtigen wie das Alter der Probanden und das Zeitraster der Expositionen. Expositionen sollten dem Worst-Case Szenario entsprechen (höchste SAR-Werte) und unter Doppelblind-Bedingungen durchgeführt werden. Mögliche Hitze- oder akustische Wahrnehmung der Exposition durch die Probanden müssen bewertet und vermindert oder beseitigt werden. Das experimentelle Design muss gut dokumentiert werden, um reproduzierbare und quantifizierbare Exposition sicherzustellen.

### Forschungsbedarf mit hoher Priorität

Wenn es ethisch akzeptiert werden kann, sollten akute Wirkungen durch RF-Expositionen auf Wahrnehmung und EEG auch an Kindern in Labortests untersucht werden.

Begründung: Mögliche RF-Wirkungen bei Kindern wurden insbesondere angesprochen durch die Independent Expert Group on Mobile Telephones (IEGMP, UK, 2000) und auf dem Workshop der WHO in Istanbul (Kheifets et. al. Pediatrics 2005, 116: 303-313). Kognitive Wirkungen sind ein bevorzugtes Forschungsgebiet bei RF-Studien, jedoch gibt es nur wenige Ergebnisse bezüglich RF-Wirkungen auf Kinder.

### Weiterer Forschungsbedarf

Kein Forschungsbedarf, das Ergebnis der laufenden Human- und Tierstudien ist abzuwarten.

## Tierstudien

Tierstudien werden angewendet, wenn es nicht ethisch oder nicht praktikabel ist, diese Studien mit Menschen durchzuführen; sie haben den Vorteil, dass die experimentellen Bedingungen sogar für Langzeitexpositionen streng kontrolliert werden können.

Es gibt viele kürzlich vollendete und laufende Studien:

- Zwei großangelegte In-vitro Studien mit Nagetieren in Europa (Perform A), eine in den Vereinigten Staaten (NIEHS) und eine in Japan (in Arbeit oder bereits abgeschlossen).
- Ein Multigenerationsstudie in Deutschland mit vielfachen Endpunkten (in der Durchführung).
- Neue und Replikationsstudien, die Nagetiermodelle der Wirkung von Karzinogenen und Kokarzinogenen verwenden (d. h., Piml, DMBA, ENU) (abgeschlossen oder noch in Arbeit).
- Bewertung der Wirkung von GSM-Feldern (veröffentlicht) und UMTS Expositionen auf das Innenohr von Ratten.
- Replikationsstudien über Wirkungen auf das Verhalten (z. B. Labyrinth-Orientierung) (veröffentlicht).
- Überprüfung russischer Immunsystem-Studien, die auf Wirkungen von RF-Feldern hinweisen (in Arbeit).
- Studien zur Bewertung der Reproduzierbarkeit veröffentlichter RF-Effekte zur Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke und anderer neuropathologischer Effekte (z. B. dunkler Neuronen) (in Arbeit).
- Studie in Finnland zur Untersuchung der Wirkungen lang anhaltender Expositionen junger Tiere in Bezug auf die Entwicklung des Zentralnervensystems mit verhaltensbezogenen und morphologischen Endpunkten (in Arbeit).
- Es gibt noch viele weitere laufende Projekte über Tiere in der WHO-Datenbank mit immunologischen Endpunkten, mit jungen Tieren, usw.

Wenn durchführbar sollten Tierstudien so entworfen werden, dass sie Informationen über den potenziellen Zusammenhang des Tialters mit RF-Wirkungen einbeziehen (d. h. Vergleiche zwischen Fötus, Jugendlichen und Erwachsenen). Die mögliche Rolle der Expositionsstrategie (einschließlich der Periodizität und Dauer) sollte in der experimentellen Planung berücksichtigt werden.

## Forschungsbedarf mit hoher Priorität

Studien zur Untersuchung der Wirkungen von Expositionen durch RF-Felder auf unreife Tiere in Bezug auf Entwicklung und Reifung des CNS sowie die Entwicklung der Blutbildungs- und Immunsysteme in Bezug auf funktionale, morphologische und molekulare Endpunkte. Genotoxische Endpunkte sollten ebenfalls berücksichtigt werden. Experimentelle Protokolle sollten pränatale und/oder frühe postnatale Expositionen durch RF Felder umfassen.

Begründung: Sowohl von der Independent Expert Group on Mobile Telephones (IEGMP, UK, 2000) als auch auf dem Workshop der WHO in Istanbul (Kheifets et al. Pediatrics. 2005, 116: 303-313) wurden das Zentralnervensystem (central nervous system – CNS) und die Blutbildungs- und Immunsysteme potenziell als die empfindlichsten Organe und Gewebe betrachtet, die sich während der Kindheit entwickeln.

## Weiterer Forschungsbedarf

Kein Forschungsbedarf, das Ergebnis der laufenden Tierstudien ist abzuwarten.

## Zellstudien und Mechanismen

### Zellstudien

Studien an Geweben, lebenden Zellen und zellfreien Systemen spielen eine unterstützende Rolle in Gesundheitsrisikobewertungen. Zelluläre Modellsysteme sind ausgezeichnete Kandidaten für Plausibilitätstests mechanistischer Hypothesen und zur Überprüfung der Möglichkeit synergistischer Wirkungen zwischen RF Expositionen und Agenzien mit bekannten biologischen Aktivitäten, Sie sind entscheidend für das optimale Design von Tier- und der Epidemiologie-Studien (z. B. haben Zellstudien das Potenzial, klare Reaktionen auf RF-Expositionen zu ermitteln, und können so in Studien neuer RF-Signale verwendet werden).

Es gibt mehrere kürzlich vollendete oder laufende Studien (zu Genotoxizität, Apoptose usw.), die größtenteils keine Wirkungen feststellen konnten. Die Expositionen fanden unter vielfältigen Expositions- und Wachstumsbedingungen statt, die es erschweren, die Daten zu vergleichen. Der größte Teil der aktuellen Kontroversen ist auf einige Genotoxizitätsuntersuchungen zurückzuführen, die gegenwärtig in Replikation sind.

Ein durch die WHO mitgeförderter Workshop zu Genomics und Proteomics wurde gegen Ende 2005 in Helsinki durchgeführt. Es wurde vermerkt, dass diese Methoden auf einer Genom-weiten und Proteom-weiten Skala bestimmen können, welche biologische Antworten durch Umweltstressfaktoren ausgelöst werden können (z. B. durch EMF). Jedoch sind diese Methoden noch in Entwicklung und sind noch nicht geeignet, potenzielle Gesundheitsgefahren zu bewerten oder vorauszusagen. Sie können als Forschungswerkzeug verwendet werden, um Zielmoleküle (Gene, Proteine) zu identifizieren, die durch EMF beeinflusst wurden und molekulare Endpunkte für die Formulierung von Forschungshypothesen liefern.

### Forschungsbedarf mit hoher Priorität

Unabhängige Replikationsstudien kürzlich berichteter Ergebnisse zu Hitzeschockproteine (HSP)- und DNA-Schäden, bei Exposition mit niedrigen Intensitäten (unter 2 W/kg) und/oder modulations- oder periodizitätsspezifischen Signalen. Die Abhängigkeit der Wirkungen von SAR-Niveaus und Frequenz sollte betrachtet werden.

Begründung: Der nützlichste Beitrag von In-vitro-Studien liegt darin, zu ermitteln, ob es irgendwelche reproduzierbaren biologischen Effekte bei Signalen niedriger Intensität gibt, die signal- und/oder zellspezifisch sind, insbesondere im Zusammenhang mit Krebs (z. B. Genotoxizität) oder Wirkungen auf das Nervensystem. Deshalb gibt es im Hinblick auf einige kürzlich veröffentlichte Ergebnisse (z. B. REFLEX) den Bedarf, die Gültigkeit der Ergebnisse nachzuprüfen, möglicherweise über eine multizentrische Studie.

### Weiterer Forschungsbedarf

Studien zu RF-Wirkungen auf die Zelldifferenzierung z. B. während der Blutbildung im Knochenmark sowie auf das Nervenzellenwachstum, bei Verwendung von Gehirnschnitten und kultivierten Neuronen.

Begründung: Krebszellen befinden sich im Allgemeinen in einem relativ undifferenzierten Zustand schneller Teilung. Die Möglichkeit, dass Blut bildendes und/oder neuronales Gewebe anomales Wachstum als Reaktion auf RF-Exposition zeigen könnte, wäre wichtig wegen des Mangels an Untersuchungen auf diesem Gebiet.

## Mechanismen

Die einzigen bekannten Mechanismen im Zusammenhang mit Gesundheitsfolgen werden durch Temperaturerhöhung und Induktion elektrischer Ströme und Felder verursacht. Andere Mechanismen existieren, aber es gibt keine Beweise, dass sie zu irgendwelchen Gesundheitswirkungen führen.

Es gibt einige laufende experimentelle Projekte über Mechanismen. Eines erforscht die Möglichkeit, dass es biologische Komponenten gibt, deren Reaktion auf RF genügend nichtlinear ist, um RF-Signale zu demodulieren und daher elektrische Ströme im ELF-Bereich zu erzeugen. Das könnte bedeutsam sein, wenn es im Zentralnervensystem vorkommt (Universitäten von Bradford und Maryland und die Health Protection Agency, Großbritannien). Andere Projekte erforschen die Bewegung von subzellularen Kalzium-Ionen. Es hat auch neues theoretisches Interesse an einer Anzahl weiterer Gebiete gegeben. So wird die Möglichkeit betrachtet, dass RF die Konzentration freier Radikale durch den Radikalpaarbildungsmechanismus beeinflusst, Molekülschwingungen anregt oder die Konformation von Proteinen verändern könnte.

## Forschungsbedarf mit hoher Priorität

Kein Forschungsbedarf, das Ergebnis der laufenden Studien ist abzuwarten.

## Dosimetrie

Fachmännischer Dosimetrie Support ist entscheidend für das korrekte Design und die Interpretation experimenteller Studien aller Typen.

- Die Forschung beschäftigt sich aktiv mit der Planung von Expositionseinrichtungen für frei laufende Tiere, um sicherzustellen, dass die groß angelegten In-vitro Studien mit Nagetieren insgesamt gesehen fähig sind, die Anforderungen für Signalintensitäten und tägliche Expositionszeiten für die Tiere optimal zu erfüllen.
- Mehrere laufende Studien tragen durch Erfassen der Altersabhängigkeit zur Datensammlung dielektrischer Gewebeeigenschaften bei und verbessern dadurch die Qualität der numerischen Modellierung.
- Die Modellierung der SAR Verteilung bei Kindern und schwangeren Frauen wird ebenfalls in vielen Ländern betrieben.

## Forschungsbedarf mit hoher Priorität

- Forschung ist erforderlich, um sich schnell ändernde Muster der drahtlosen Kommunikationsnutzung und die Exposition verschiedener Körperteile zu dokumentieren (insbesondere bei Kindern und Föten), einschließlich der Mehrfachexposition durch verschiedene Quellen.

Begründung: Experimentelle Expositionsbedingungen müssen besonders für Kinder auf gesammelten Informationen aus Expositionserkundungen beruhen (im Gegensatz zu einfachen Quellenauswertungen). Es sind wenige Informationen über die persönliche Expositionsbelastung in der allgemeinen Bevölkerung verfügbar, was es problematisch macht, die Gesamtexposition durch alle RF-Quellen zu schätzen. Wegen der wachsenden drahtlosen Nachrichtentechnologie werden Kommunikationseinrichtungen in der breiten Öffentlichkeit, also auch bei Kindern und schwangeren Frauen populär, die in nächster Nähe zum Körper benutzt werden; das Wissen um die Dosimetrie verschiedener Körperteile und Organe ist aber noch beschränkt.

- Weitere Arbeit an Dosimetriemodellen von Kindern verschiedenen Alters und schwangeren Frauen. Verbesserung von Dosimetriemodellen der RF-Energieabsorption bei Tieren und Menschen verbunden mit passenden Modellen der menschlichen thermoregulativen Reaktionen (z. B. Innenohr, Kopf, Auge, Rumpf, Embryo und Fötus).

Begründung: Die Beziehung zwischen SAR und Temperaturerhöhung sollte besser modelliert werden, um potenzielle Gefahren im Zusammenhang mit speziellen RF-Expositionsbedingungen voraussagen und die Qualität der Expositionssysteme verbessern zu können.

### Weiterer Forschungsbedarf

Mikro-Dosimetrie-Forschung (d. h., auf Zell- oder subzellularen Niveaus), die neue Einblicke bezüglich biologisch relevanter Ziele der RF-Exposition ergeben kann.

Begründung: Wenig ist über die Feldverteilung in kleinen Maßstäben und Folgen der Nichtgleichförmigkeit von Feldern auf der Ebene von subzellularen Strukturen und Molekülen in Bezug auf die Mechanismen von Bioeffekten bekannt.

### Sozialwissenschaftliche Themen

Es gibt öffentliche Besorgnis über mögliche nachteilige Gesundheitswirkungen durch die RF-Felder mobiler Kommunikationstechnologien. Diese Sorgen beeinflussen das Risikomanagement und die öffentliche Akzeptanz wissenschaftlicher Gesundheitsrisikobewertungen. Vernünftiges Risikomanagement sollte auf Beweise bauen, die sowohl von wissenschaftlichen Risikobewertungen als auch Erkenntnissen aus sozialwissenschaftlichen Studien stammen, die diese Bedenken durch gut gestaltete Forschung untersuchen.

Relativ wenige Studien wurden zu RF-Risikowahrnehmung und -Risikokommunikation durchgeführt. Die veröffentlichten Studien haben Einflüsse des Risikomanagements und von Risikokommunikationsstrategien auf die Konfliktlösung, individuelle Risikowahrnehmung einschließlich Risikobewertung, Wahrnehmung von politischen Maßnahmen (z. B. Vorsorgeprinzip), und soziale und psychologische Determinanten der Risikowahrnehmung untersucht. Die gegenwärtige Forschung umfasst:

- Nationale Bestandsaufnahmen zu Wahrnehmung und Einschätzung von RF-Risiken durch die breite Öffentlichkeit (in mehreren Ländern in Arbeit)
- Vergleichende Analysen nationaler Erhebungen zu Risikowahrnehmung und -Regulierung
- Untersuchungen der Faktoren die die Risikowahrnehmung bestimmen, einschließlich Studien zur Rolle von wissenschaftlichen Beweisen und wissenschaftlichen Unsicherheiten
- Kognitive Kartierung von Überzeugungen und Einstellungen im Zusammenhang mit RF-Risikoabschätzungen
- Bewertung von Mitwirkungs-Strategien von Interessengruppen und Risikokommunikationsstrategien für das Konfliktmanagement

Alle im Folgenden beschriebenen Studien sind erforderlich, es wird kein spezifischer Vorrang gegeben.

- Risikowahrnehmung von Einzelpersonen, einschließlich Studien zur Entwicklung von Meinungen und Wahrnehmungen über die Beziehung zwischen RF Exposition und Gesundheit.

Begründung: Um Forschungsergebnisse angemessen vermitteln zu können und zu einer sachkundigen öffentlichen Debatte über RF Exposition und Gesundheit beizutragen, sind mehr Kenntnisse notwendig über das Vorherrschen von Wahrnehmungsmustern, und die Besorgnisse, die diese Muster und ihre Verbreitung formen.

- Studien, die möglichst aus internationaler Sicht Bedingungen des Vertrauens und Zutrauens von Interessengruppen und der breiten Öffentlichkeit in Technologien,

Richtlinien sowie Risikokommunikations- und -managementstrategien bezüglich RF-Expositionen analysieren.

Begründung: Das würde zu einem allgemeinen Framework von Analysen beitragen, die helfen, die Reaktionen verschiedener Interessengruppen und Experten auf die öffentliche Sorge zu verstehen und die Effizienz der Kommunikationen, sowie die institutionelle Reaktion auf diese Besorgnis zu verbessern.

- Bewertung des Einflusses von Vorsorgemaßnahmen auf die öffentliche Besorgnis und die Akzeptanz freiwilliger oder vorgeschriebener Richtlinien.

Begründung: Es gibt wissenschaftliche Anhaltspunkte, dass Vorsorgemaßnahmen die öffentliche Besorgnis vergrößern können. Diese Anhaltspunkte sind vorläufig und müssen bestätigt werden. Außerdem sollten Studien die relevanten Motive und Mechanismen untersuchen, um unser Verständnis über den Einfluss von Vorsorgemaßnahmen auf Richtlinien zu erhöhen.

- Bewertung der Rolle von Gesundheitsdefinitionen (Wohlbefinden) und anderer wichtiger Konzepte im Bereich der RF-Risikokommunikation in Bezug auf Risikowahrnehmungs- und Risikorisikomanagementstrategien.

Begründung: Um Interessengruppen und die Gesellschaft effektiv zu informieren, besteht die Notwendigkeit, die relevanten Informationen auf die Zielgruppen abzustimmen. Es besteht ein dringendes Bedürfnis zu wissen, welche Rolle Schlüsselkonzepte, die routinemäßig in der RF-Risikokommunikation verwendet werden (z. B. „Wohlbefinden“, „Bedeutung“ usw.), spielen und ihre Relevanz für die Risikowahrnehmung und -eingrenzung einzuschätzen.

- Quantifizierung der gesundheitsbezogenen vorteilhaften Wirkungen drahtloser Kommunikation.

Begründung: Eine sachliche Gesundheitsbewertung muss sowohl mögliche Gesundheitsgefahren als auch vorteilhafte gesundheitliche Wirkungen im Zusammenhang mit drahtloser Kommunikation bewerten (z. B. größere Sicherheit, verminderte Angstgefühle usw.).

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

Begründung: Um das Vertrauen in das nationale und internationale Risikomanagement zu vergrößern, muss die Beteiligung von Bürgern und Interessengruppen am Risikomanagement gesichert werden. In Europa könnten solche Programme in Verbindung mit dem europäischen Programm Trustnet durchgeführt werden.