

# Identifizierung weiteren Forschungsbedarfs im EMF-Bereich durch die amerikanischen Wissenschaftsakademien

Frank Gollnick

**Im Frühjahr 2007 beauftragte die amerikanische „Food and Drug Administration“ (FDA) die „National Academies“ ([www.nationalacademies.org](http://www.nationalacademies.org)), „den künftigen Forschungsbedarf und noch vorhandene Wissenslücken in Bezug auf biologische Effekte oder schädliche gesundheitliche Auswirkungen, die möglicherweise durch die Wirkung der Felder drahtloser Kommunikationsgeräte auftreten können, zu identifizieren“. Daraufhin setzten die „National Academies“ ein siebenköpfiges Komitee ein, das einen entsprechenden wissenschaftlichen Workshop organisierte und als Ergebnis davon im Januar 2008 einen knapp 80seitigen Bericht veröffentlichte [1]. Nach Fachgebieten unterteilt, werden in diesem Bericht die nach Ansicht der befragten Experten noch ungeklärten Fragen genannt und mit Begründungen unterlegt. Weitergehende Aussagen, wie die Bewertung gesundheitlicher Effekte oder Empfehlungen zum Umgang mit dem festgestellten Forschungsbedarf, werden nicht gemacht.**

## Das Komitee und der Workshop

Bei den „National Academies“ handelt es sich um eine amerikanische Körperschaft, die dazu dient, Expertenkomitees in allen wissenschaftlichen und technologischen Bereichen zusammenzubringen, um „kritische Fragen von nationaler Bedeutung“ zu behandeln und Empfehlungen gegenüber

der Regierung und der Öffentlichkeit abzugeben. Das vorliegende Projekt war bei einer der vier Unterorganisationen der „National Academies“, der „National Academy of Sciences“ (NAS) angesiedelt und wurde von Frank Barnes (University of Colorado, Boulder) geleitet. Der Workshop mit renommierten internationalen Experten fand vom 7. - 9. August 2007 in den Räumen der NAS in Washington, DC statt. Hier wurden auch Stellungnahmen von Privatleuten, Wissenschaftlern und offiziellen Vertretern des Gesundheitswesens berücksichtigt, die diese im Vorfeld des Workshops übersandt hatten, um aus ihrer Sicht Forschungsbedarf und Wissenslücken zu formulieren.



Der Workshop war in die folgenden Sachgebiete mit Unterthemen eingeteilt:

- Exposition und Dosimetrie
  - Expositionsanlagen
  - Dosimetrie
  - Expositionsabschätzung
- Epidemiologie
  - Krebserkrankungen
  - Andere Erkrankungen
  - Epidemiologische Methoden

- Laborstudien am Menschen
  - Schlaf, Gehirnleistung
  - Elektrohypersensitivität und Wohlbefinden
  - Peripheres Nerven-, akustisches und Herz-Kreislauf-System
- Wirkungsmechanismen
  - Biologie
  - Biophysik
  - Wirkungsmodelle
- Tier- und Zell-Studien
  - In vivo
  - In vitro
- Übergreifende Themen
  - Kurzzeitige und langfristige Exposition
  - Lokale und Ganzkörper-Exposition
  - Frage der Extrapolation bekannter Expositionsszenarien auf zukünftige Szenarien
  - Frage der Existenz nichtthermischer Effekte
  - Frage eines besonderen Risikos für Kinder
  - Frage eines besonderen Risikos für andere spezielle Gruppen, wie ältere und kranke Menschen

miologie“, einer betrifft das Sachgebiet „Laborstudien am Menschen“, zwei weitere den Sachkomplex „Wirkungsmechanismen“ und ein letzter das Thema „Tier- und Zell-Studien“. Im ausführlichen Teil des Berichts wird differenzierter auf vorhandene Erkenntnisse, Wissenslücken und noch laufende Forschung eingegangen. Es findet zu jedem Sachgebiet eine Einteilung in „**Forschungsbedarf**“ und „**Wissenslücken**“ statt. Dies kann in der folgenden Aufstellung nur stark verkürzt wiedergegeben werden.

Die 10 Punkte an identifiziertem Forschungsbedarf in Kurzform:

### Exposition und Dosimetrie

1. Charakterisierung der Exposition von Jugendlichen, Kindern, schwangeren Frauen und Föten bei Feldeinwirkung durch tragbare, funkbetriebene Geräte und durch Basisstations-Antennen.
2. Charakterisierung der von typischen mehrgliedrigen Basisstations-Antennen abgestrahlten elektromagnetischen Felder und der hierdurch verursachten Exposition betroffener Personen.
3. Charakterisierung der Dosimetrie von neu entwickelten Antennenkonfigurationen für Mobilfunkgeräte und Textübertragungssysteme.

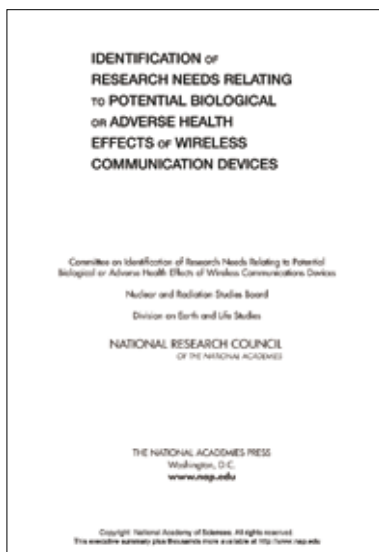
Betont wurde, dass die Rahmenbedingungen einer Exposition (Nutzungsumgebung, verschiedene Feldquellen aus unterschiedlichen Richtungen und mit verschiedenen Frequenzen), und dies möglichst für den ungünstigsten Fall (stärkste Antennenauslastung, größtmögliche Nähe zur Antenne), mit zu berücksichtigen seien. Bei beruflich exponiertem Personal müssen verschiedene Körpergrößen berücksichtigt werden, und bei Berechnungen für die allgemeine Bevölkerung sollten noch mehr die verschiedenen

Körperstaturen Erwachsener sowie die von Kindern verschiedenen Alters mit einkalkuliert werden.

## Der Report und die Ergebnisse

Nach der Durchführung des Workshops erstellten die von den „National Academies“ eingesetzten Mitglieder des Komitees einen Berichtsentwurf. Elf weitere international anerkannte und unabhängige Wissenschaftler oder Mitglieder offizieller Stellen waren dann als zusätzlich herangezogene Rezensenten damit beschäftigt, die Qualität des Berichts zu sichern und gegebenenfalls durch eigene Beiträge noch zu erhöhen. In der nun zur Publikation freigegebenen Version [1] werden, abgeleitet von den Präsentationen und Diskussionen im Workshop, zusammenfassend **zehn Punkte**

**an Forschungsbedarf** genannt. Jeweils drei Punkte beziehen sich auf die beiden ersten oben genannten Sachgebiete „Exposition/Dosimetrie“ und „Epidemiologie“.



## Epidemiologie

4. Eine prospektive epidemiologische Kohortenstudie an Kindern und schwangeren Frauen.
5. Eine epidemiologische Fall-Kontroll-Studie zu Krebserkrankungen bei Kindern unter Berücksichtigung von Hirntumoren.
6. Eine prospektive epidemiologische Kohortenstudie an Erwachsenen in der allgemeinen Bevölkerung und retrospektive Kohortenstudien an beruflich mittel bis stark exponierten Personen.

In Bezug auf Erwachsene wurde betont, dass im Vorfeld der Untersuchung beruflich exponierter Personen die Arbeitsplätze mit den höchsten potenziellen Feldbelastungen identifiziert und charakterisiert werden müssten. Genannt wurden hier Antennenkonstruktion und -wartung sowie die Exposition von Feuerwehrleuten durch körpfernah eingesetzte Sprechfunkrichtungen. Darüber hinaus erforderten vorliegende Ergebnisse zu den folgenden Krebsarten eine Nachverfolgung: Augenhautkarzinom, Leukämie, Lungen-, Brust- und Hodenkrebs sowie Spermienqualität. In Bezug auf Kinder wurden besonders die möglichen Effekte auf das Verhalten und auf die Gehirnleistung betont. Ebenfalls wichtig wären Untersuchungen zu Hirntumoren, wobei diese selten vorkämen und daher Kohortenstudien kaum realisierbar seien.

## Laborstudien am Menschen

7. Laborstudien, in denen mögliche nachteilige Einwirkungen auf die menschliche Gehirnaktivität mittels der Elektroenzephalographie (EEG) an ausreichenden Individuenzahlen untersucht werden.

Hierbei müsste auf geeignete Expositionseinrichtungen, zuverlässige EEG-Analysetechniken und die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Forschungszentren unter Verwendung identischer Versuchsprotokolle besonderer Wert gelegt werden. Wenig Wissen existiere außerdem über mögliche neurophysiologische Effekte bei der Langzeiteinwirkung von Funkfeldern. Die möglichen speziellen Risiken für ältere Menschen seien noch schlecht untersucht, und es bestehe weiterhin die Notwendigkeit die kognitiven Fähigkeiten auf mögliche Störungen durch Hochfrequenzfelder hin zu untersuchen. Nachrangig, aber zunehmend wichtig sei außerdem die Unter-

suchung von Störeinflüssen der Mobiltelefone auf Hörgeräte und Innenohr-Implantate.

## Wirkungsmechanismen

8. Untersuchung der Effekte von Funkfeldern auf neuronale Netzwerke.
9. Abschätzung der Dosen, die in mikroskopischen Dimensionen vorkommen.

Es gehe bei dieser Forschung vor allem darum, im Zentralnervensystem die Schwelle für ein von außen eingestrahktes Signal genauer zu bestimmen, ab der das biologische System (zum Beispiel ein Netzwerk von Nervenzellen) das äußere Signal vom „Rauschen“ der natürlichen inneren Signale unterscheiden kann, bei der also eine „biologische Wahrnehmung“ des Funksignals beginnt. Unklar sei außerdem weiterhin, ob in mikroskopischen Dimensionen eine stärkere Energieabsorption, in Zellen zum Beispiel an Grenzstrukturen mit unterschiedlichen dielektrischen Eigenschaften, stattfindet. Die Möglichkeit einer Demodulation pulsmodulierter Hochfrequenzsignale durch nichtlineare biologische Mechanismen wird gegenwärtig noch erforscht. Als nachrangig eingestuft - obwohl ebenfalls von Interesse - wurden Untersuchungen zu der Frage, ob schwache Funkfelder über die Stimulation zellulärer Thermorezeptoren Effekte hervorrufen können. Ebenso die Erforschung von Feldeinflüssen auf den Transport von Ionen und Molekülen durch Zellmembranen.

## Tier- und Zell-Studien (an In-vivo- und In-vitro-Modellsystemen)

10. Zusätzliche experimentelle Forschung mit dem Ziel, potenzielle biophysikalische und biochemische/molekulare Wirkmechanismen von Funkfeldern zu identifizieren.

Diese sehr allgemein gehaltene Forschungsempfehlung spiegelt wohl die Schwierigkeiten wider, sich unter diesem Themenkomplex auf konkreten Forschungsbedarf zu einigen. Dem entsprechend wurde bezüglich der noch vorhandenen *Wissenslücken* eine Vielzahl von Einzelthemen genannt, wobei man eine Einteilung in die Gebiete „Krebs“, „Auf Krebs bezogene Endpunkte (Genetische Toxikologie)“, „Auf Krebs bezogene Endpunkte (Andere)“ sowie „Andere, nicht auf Krebs bezogene Endpunkte“ vornahm.

Bei „Krebs“ spielt eine Rolle, dass noch einige wichtige Studien laufen. Falls nach Auswertung dieser Studien noch Forschungsbedarf bestünde, würde man Empfehlungen für eine Verwendung genetisch veränderter Tierstämme zur Erhöhung der Sensitivität geben sowie für die Verwendung mehrstufiger Modellsysteme für Gewebe, die im Verdacht stehen auf Feldeinflüsse zu reagieren (wie zum Beispiel Hirngewebe). Weitere genotoxikologische Studien werden nur für den Fall in Betracht gezogen, dass onkologische Tierstudien oder noch laufende Tierstudien zu chronischer Toxizität Hinweise auf Krebsentstehung durch Feldeinflüsse ergeben. Relativ wenig erforscht seien außerdem noch die Endpunkte „Immunsystem“, „Hormonsystem“, „Zellproliferation/Apoptose“, „Gen- und Proteinexpression“, „fötale und Neugeborenen-Entwicklung“ sowie „Struktur und Funktion des Gehirns“, und dies zum Teil noch nicht im Zusammenhang mit einer Feldexposition vor und kurz nach der Geburt sowie im jugendlichen Alter.

## Der Vergleich mit der Forschungsagenda der WHO

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) veröffentlichte im Rahmen ihres „Internationalen EMF-Projekts“ im Januar 2006 die letzte Neufassung ihrer Forschungsagenda für den Bereich von Funkfrequenzen („RF Research Agenda“, [2]), die als Empfehlung für internationale Forschungsanstrengungen diente und weiterhin dient. Grundlage dafür war ein zweitägiges Expertentreffen im Oktober 2005 bei der WHO in Genf. In der Forschungsagenda findet, ähnlich wie in dem hier besprochenen Bericht der „National Academies“, eine Priorisierung des Forschungsbedarfs statt. In den Kategorien „Epidemiologie“, „Studien an Mensch und Tier“, „Zellstudien und Mechanismen“, „Dosimetrie“ sowie „Sozi-

alforschung“ wird jeweils in „Forschungsbedarf mit hoher Priorität“ und „Anderer Forschungsbedarf“ unterschieden. „Sozialforschung“ findet in der vorliegenden Bedarfsermittlung der „National Academies“ keine Erwähnung, die Untergliederung der anderen Themengebiete ist mehr oder weniger vergleichbar mit der WHO Forschungsagenda. Wie sich bei näherer Betrachtung zeigt, deckt sich auch der Inhalt der Empfehlungen in weiten Teilen.

Im Bereich „**Dosimetrie**“ findet man eine weitgehende Übereinstimmung der Forschungsziele. Zusätzlich erwähnt die WHO-Forschungsagenda als Schwerpunkte die Exposition verschiedener Körperteile und dosimetrische Modelle zum Energieeintrag in das Gewebe in Verbindung mit Thermoregulationsmodellen beim Menschen. Die dort unter „Anderer Forschungsbedarf“ empfohlenen Mikrodosimetrie-Untersuchungen auf zellulärem und subzellulärem Niveau finden sich in den Forschungsempfehlungen der „National Academies“ in Punkt (9) unter „Wirkungsmechanismen“ wieder.

Die im Kapitel „**Epidemiologie**“ der WHO-Forschungsagenda genannten Empfehlungen findet man bei den „National Academies“ fast vollständig in den Punkten (4), (5) und (6) sowie im begleitenden Text zum Thema „Epidemiologie“ wieder. Der Bericht der „National Academies“ nennt darüber hinaus Fall-Kontroll-Studien zu seltenen Krankheiten und prospektive Kohortenstudien zu subjektiven Symptomen als weitere mögliche Studienziele bei Erwachsenen, bei Kindern Fall-Kontroll-Studien zu Krebserkrankungen unter Berücksichtigung aller festen Sendeeinrichtungen (Mobilfunk, Radio, TV etc.) und mit besonderem Augenmerk auf die Nähe des Wohnorts zu Mobilfunk-Basisstationen.



Bei den „**Laborstudien am Menschen**“ sehen beide Forschungsempfehlungen den Schwerpunkt in der weiteren Erforschung akuter Effekte auf die menschliche Gehirnaktivität mittels der Elektroenzephalographie (EEG), in der WHO-Forschungsagenda allerdings mit eindeutigem Fokus auf Untersuchungen an Kindern. Die amerikanische Empfehlung legt dagegen besonderen Wert auf methodische Verbesserungen, spezielle Risiken oder Probleme älterer Menschen sowie auf Langzeitwirkungen im neurophysiologischen Bereich. Übereinstimmungen in den empfohlenen Forschungs-Endpunkten finden sich auch für „**Tierstudien**“ (die WHO nennt hier Gehirnentwicklung, blutbildendes System, Immunsystem und Genotoxizität), wobei die „National Academies“ den Schwerpunkt auf die Identifizierung potenzieller biophysikalischer und biochemischer/molekularer Wirkmechanismen von Funkfeldern legen. Die WHO legt den Fokus bei ihrer Empfehlung zu „Tierstudien“ wiederum auf die kindliche Entwicklung (frühkindliche oder vorgeburtliche Exposition). Diesen Aspekt findet man in der amerikanischen Forschungsempfehlung allerdings auch in dem begleitenden Text zu diesem Punkt.

Wie erwähnt, werden die in beiden Empfehlungen enthaltenen Mikrodosimetrie-Untersuchungen in der WHO-Forschungsagenda nicht unter dem Punkt „Wirkungsmechanismen“, sondern unter „Dosimetrie“ abgehandelt. Die WHO-Forschungsagenda nennt zu „**Wirkungsmechanismen**“ explizit keine Empfehlung und verweist auf laufende Studien. Die „National Academies“ nennen in ihrer Empfehlung neben den Mikrodosimetrie-Untersuchungen noch die Untersuchung neuronaler Netzwerke unter Feldeinfluss sowie weitere Punkte unter „Wissenslücken“ (siehe oben unter „Wirkungsmechanismen“), zum Teil auch hier mit dem Verweis auf laufende Forschung.

Schließlich werden zu „**Studien an Zellen**“ in der WHO-Forschungsagenda konkretere Ziele genannt als in der Empfehlung der „National Academies“, was zum Teil auf die damals aktuelle Lage in diesem Forschungszweig zurückgeführt werden kann. So wurden im Jahr 2005 bei der Entstehung der WHO-

Forschungsagenda unabhängige Replikationsstudien zur Expression von Hitzeschock-Proteinen (HSP) und zur Schädigung der DNA unter Feldeinfluss mit hoher Priorität empfohlen. Darüber hinaus mit geringerer Priorität aber auch Untersuchungen zur Zelldifferenzierung, zum Beispiel während Blutbildungsprozessen im Knochenmark, und zum Wachstum von Nervenzellen – beides mit Blick auf die grundlegenden Prozesse bei der Krebsentwicklung. Die „National Academies“ legen hier den Schwerpunkt beim Forschungsbedarf – wie auch für „Tierstudien“ – auf die Identifizierung potenzieller biophysikalischer und biochemischer/molekularer Wirkmechanismen von Funkfeldern. Eine Vielzahl weiterer Themen werden mit nachgeordneter Priorität unter „Wissenslücken“ aufgezählt, darunter mit Ausnahme der Blutbildungsprozesse auch die in der WHO-Forschungsagenda genannten (siehe oben unter „Tier- und Zell-Studien“).

Somit ergeben sich beim Vergleich der Forschungsagenden beider Institutionen eher Unterschiede in der Betonung der Blickrichtung, mit der die empfohlene Forschung ausgeführt werden sollte, als in der grundlegenden Schwerpunktsetzung.

## Literatur

- [1] Identification of Research Needs Relating to Potential Biological or Adverse Health Effects of Wireless Communication. National Academy of Sciences. The National Academies Press, 2008. <http://www.nap.edu/catalog/12036.html>
- [2] 2006 WHO Research Agenda for Radio Frequency Fields. World Health Organization, 2006. [http://www.who.int/peh-emf/research/rf\\_research\\_agenda\\_2006.pdf](http://www.who.int/peh-emf/research/rf_research_agenda_2006.pdf)



**Dr. rer. nat. Frank Gollnick** ist Biologe (Fachgebiet Zellbiologie).

Bei der FGF ist er im Projektmanagement sowie in der wissenschaftlichen Beratung und Informationsaufarbeitung tätig.