

Risikobewertung im wissenschaftlichen Dialog

P. Wiedemann, H. Schütz und A. Thalmann

Forschungszentrum Jülich GmbH
Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik

September 2002

Korrespondenzadresse:

Peter Wiedemann
Forschungszentrum Jülich
Programmgruppe MUT
52425 Jülich
Tel. 02461 614806
P.Wiedemann@fz-juelich.de

Vorwort

Die vorliegende Studie dokumentiert einen Dialog zwischen Wissenschaftlern, dessen Ziel es war, Risikobewertungen zu „Mobilfunk und Gesundheit“ gemeinsam zu erörtern und zu überprüfen.

Teilgenommen haben daran Vertreter von vier Instituten, deren Risikobewertungen Gegenstand des Dialogs waren: Prof. Glaser (Humboldt Universität Berlin), Dr. Neitzke (Ecolog Institut Hannover), Herr Küppers (Öko-Institut Darmstadt) und Prof. Silny (Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit der RWTH Aachen).

Als beratende Experten waren außerdem beteiligt: Prof. Birbaumer (Institut für medizinische Psychologie, Universität Tübingen), Dr. Buschmann (Fraunhofer Institut für Toxikologie und Aerosolforschung Hannover), Dr. Görlitz (Fraunhofer Institut für Toxikologie und Aerosolforschung Hannover), Dr. Lüdemann (Klinik und Poliklinik für Neurologie, Universitätsklinik Münster), Dr. Schüz (Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation, Universität Mainz) und Prof. Stalla (Max Planck Institut für Psychiatrie, München).

Der Bericht beinhaltet keine neue Risikobewertung zum Mobilfunk im Sinne eines umfassenden Meta-Gutachtens zu den vorliegenden Gutachten der vier Institute. Die Fachliteratur wurde im Wesentlichen bis zum Stand von 2001 berücksichtigt. Vielmehr besteht das Interesse vor allem darin, zu zeigen, wo Konsense und wo Dissense bestehen sowie die Ursachen der unterschiedlichen Bewertungen aufzuklären.

Die Programmgruppe Mensch Umwelt Technik des Forschungszentrums Jülich, die diesen Dialog moderierte, hat daraus Vorschläge entwickelt, wie in Zukunft die Risikobewertung verbessert werden kann. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf einer besseren Risikocharakterisierung, die der Öffentlichkeit und der Politik helfen soll, wissenschaftliche Risikoabschätzungen besser nachvollziehen zu können und so aus einer gesellschaftlich reflektierten Risikobewertung heraus angemessene Vorschläge des Risikomanagements entwickeln zu können.

Wir danken allen Beteiligten für ihr außerordentliches Engagement.

Peter Wiedemann

Inhalt

1. Ausgangspunkt.....	7
1.1 Auftrag der Gutachten.....	9
2. Ergebnisse der Gutachten	10
2.1 Risikobewertung.....	10
2.2 Risikomanagement	12
2.3 Einschätzung der Gutachten durch MUT	13
3. Grundsätze für den wissenschaftlichen Dialog über die Gutachten.....	14
4. Prüfung der Datenbasis der Gutachten	18
4.1 Analyse der Datenbasis	19
4.2 Analyse der Datenbasis für die einzelnen Themenfelder	20
4.3 Schlussfolgerungen.....	21
5. Vorbereitung und Strukturierung des wissenschaftlichen Dialogs	22
5.1 Die Auswahl der relevanten Themenfelder	22
5.2 Einbeziehung zusätzlicher beratender Experten	23
5.3 Die Workshops zu den einzelnen Themenfeldern.....	25
5.4 Erfahrungen bei der Organisation des Dialogprozesses	26
6. Ergebnisse der Workshops.....	28
6.1 Kognitive Funktionen.....	29
Untersuchungen kognitiver Effekte am Menschen	29
Untersuchungen kognitiver Effekte am Tier.....	35
6.2 Schlaf / EEG.....	39
Schlafverhalten / Schlaf-EEG	39
Wach-EEG	43
6.3 Epidemiologie: Kanzerogene und teratogene Wirkungen	47
6.4 Tieruntersuchungen: Kanzerogene und teratogene Wirkungen.....	54
6.5 Kalzium-Homöostase (Kalzium Signalsystem).....	61
6.6 Stresshormone.....	64
6.7 Chromosomen-Mutationen / DNA-Brüche und Zellproliferation	69
7. Probleme bei der Risikobewertung und mögliche Lösungsansätze.....	75
7.1 Probleme bei der Risikobewertung	75
7.2 Vorschläge für ein Vorgehen bei der Risikoabschätzung und - bewertung	86
7.3 Vorsorge, Risikoabschätzung und Risikomanagement	96
8. Literatur	100
9. Glossar	104

1. Ausgangspunkt

Ende 1999 unternahm die T-Mobile einen, für ein deutsches Industrieunternehmen ungewöhnlichen Schritt. Sie beauftragte vier wissenschaftliche Institutionen, die in der Öffentlichkeit für unterschiedliche Werthaltungen stehen, die vorhandene wissenschaftliche Literatur zu Gesundheit und Mobilfunk auszuwerten und damit eine Risikobewertung abzugeben.

Auftragnehmer dieser Studien waren: Prof. Glaser von der Humboldt-Universität, das Ecolog-Institut (Hannover), das Öko-Institut (Darmstadt/ Freiburg) sowie Prof. Silny von der RWTH Aachen.¹

Neu war nicht die Literaturlauswertung zu "Gesundheit und Mobilfunk" – gerade in den letzten Jahren gab es dazu eine ganze Reihe namhafter nationaler und internationaler Gutachten.² Neu war die Idee, einen wissenschaftlichen Dialog zwischen den Gutachtern durchzuführen.

Mit der Organisation und Moderation dieses Dialogs betraute T-Mobile die Programmgruppe Mensch Umwelt Technik (MUT)³ des Forschungszentrums Jülich. Der Dialog setzte erst ein, nachdem alle Gutachten vorlagen und die Bereitschaften der Beteiligten zufriedenstellend geklärt waren.

Ziel des Dialogs war es, transparent zu machen, welche Konsense und welche Dissense zwischen den vorliegenden Gutachten bestehen und worin diese begründet sind. Die Gutachter sollten die wissenschaftlichen Belege, die sie für ihre Risikobewertung als wesentlich erachten, aufzeigen. In fairer Auseinandersetzung sollte geprüft werden, ob die Argumente der jeweiligen Risikobewertungen nachvollziehbar und wissenschaftlich belastbar sind. Ziel war es somit auch, transparent zu machen, wie die unterschiedlichen Schlussfolgerungen der Gutachter zustande kommen.

Damit ist dieser Bericht kein neues Gutachten zu Mobilfunk und Gesundheit. Es steht somit auch nicht in Konkurrenz zu den Bewertungen der vier Gutachter oder zu Bewertungen von anderer Seite.

¹ Weitere Informationen zu den Gutachtern bei: <http://www.ecolog-institut.de/Index.html>, www.femu.de, <http://www.oeko.de/indexb.html>, <http://www.biologie.hu-berlin.de/~expbbp/expindex.html>

² Es handelt sich u.a. um die Internationale Strahlenschutzkommission (1998), die Royal Society of Canada (1999), die unabhängige Expertengruppe für Mobiltelefone in Großbritannien (2000), den französischen Zmirou Report (2001), die deutsche Strahlenschutzkommission (2001), die British Medical Association (2001) und den Niederländischen Gesundheitsrat (2002).

³ MUT ist eine interdisziplinäre Forschungsgruppe, die sich mit der Analyse und der Verbesserung von gesellschaftlichen Bewertungs- und Entscheidungsprozessen innerhalb des Chancen- und Risikomanagements befasst. Im Mittelpunkt stehen Untersuchungen zu dem Erwerb und der Verwendung von wissenschaftlichem Wissen in der Gesellschaft, zu der Abwägung von Chancen und Risiken sowie die Analyse von gesellschaftlichen Kontroversen um Technik und Umwelt.

Abbildung 1 fasst die Vorgehensweise des wissenschaftlichen Dialogs zusammen und zeigt wie dieser auf den zugrundeliegenden Begutachtungsprozess aufbaut, der im nachfolgenden Abschnitt "Auftrag der Gutachten" genauer erläutert wird.

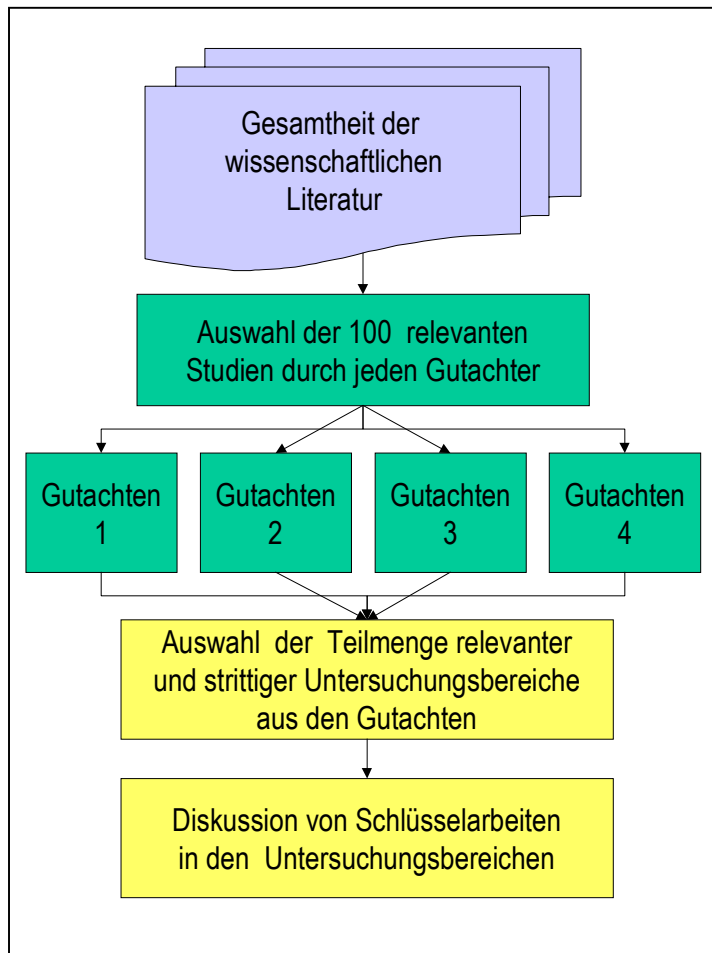


Abbildung 1: Vorgehen im wissenschaftlichen Dialog

Abbildung 1 zeigt, dass im gesamten Prozess drei Eingrenzungen vorgenommen wurden. Erstens hatten die Gutachter aus der gesamten Literatur die wichtigsten hundert Arbeiten auszuwählen. Die zweite Eingrenzung erfolgte zu Beginn des wissenschaftlichen Dialogs: Die vier Gutachter bestimmten die Themenfelder aus der Gesamtmenge der in den Gutachten behandelten Themen, die sie in den Workshops diskutieren wollten. Schließlich konzentrierte sich die Diskussion in den Workshops auf bestimmte Schlüsselarbeiten, die zwar für das jeweilige wissenschaftliche Gesamtbild wichtig, aber eben nicht damit identisch sind.

Die damit verbundene Selektivität bedeutet, dass der wissenschaftliche Dialog nicht zu einer neuen, umfassenden Risikobewertung führen kann. Wohl aber wird deutlich, warum die Gutachter z.T. zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, wie diese begründet sind, welche Rolle dabei wissenschaftspolitische und methodische Differenzen spielen und ob darüber hinaus auch

möglicherweise Fehler oder Verstöße gegen die wissenschaftliche Logik von Bedeutung sind.

Der wissenschaftliche Dialog begann im März 2001 und endete im August 2002. Insgesamt wurden fünf eintägige Workshops durchgeführt.

1.1 Auftrag der Gutachten

T-Mobile hatte nach Vorgesprächen mit dem Ecolog-Institut und nach Kenntnis des Angebots von Ecolog eine Aufgabenbeschreibung erstellt, die dann für alle Gutachten identisch war. Die Aufträge zu den Gutachten wurden zu den folgenden Zeitpunkten erteilt:

• Ecolog-Institut	14.10.99
• Prof. Dr. Silny (RWTH Aachen)	17.11.99
• Öko-Institut	25.11.99
• Prof. Dr. Glaser (Humboldt-Universität Berlin)	17.04.00

Die Gutachten lagen zu folgenden Zeitpunkten vor:

• Ecolog-Institut	25.04.00
• Prof. Dr. Silny (RWTH Aachen)	14.07.00
• Öko-Institut	18.12.00
• Prof. Dr. Glaser (Humboldt-Universität Berlin)	02.11.00

Die für alle Gutachter identische Auftragslage war: In einem ersten Arbeitsschritt sollte die wissenschaftliche Literatur im Hinblick auf Untersuchungsergebnisse, die für die Bewertung möglicher Gesundheitsgefährdungen durch Mobilfunkfelder von Bedeutung sind, identifiziert und daraus die 100 wichtigsten Arbeiten benannt werden.

Untersuchungen zu gesundheitsrelevanten Effekten auf Mensch und Tier aber auch zu Effekten auf zellulärer Ebene waren besonders zu berücksichtigen:

- Auslösung und Förderung von Krebserkrankungen,
- Einflüsse auf das Nervensystem und die Gehirnfunktion,
- Beeinflussungen des Verhaltens,
- Steuerung der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke,
- Beeinflussungen des Herz-Kreislauf-Systems,
- Beeinträchtigungen des Immunsystems,
- Störungen der Fortpflanzung und Embryonalentwicklung,
- Wirkungen auf zellulärer Ebene, wie Einflüsse auf Genexpression, Gen-toxizität, Zellkommunikation, Zellproliferation, Enzym-Aktivitäten.

In einem zweiten Schritt sollten die ausgewählten 100 Schlüsselarbeiten u.a. nach folgenden Bewertungskriterien bewertet werden:

- die gesundheitliche Relevanz der nachgewiesenen Effekte (u.a. Übertragbarkeit auf den Menschen),
- die Eignung des Modells/Untersuchungsobjekts,
- die Eignung und korrekte Anwendung der Untersuchungsmethode,
- die korrekte Erfassung und Dokumentation der Untersuchungsbedingungen (Exposition, sonstige Einflüsse, Vorbehandlung etc.),
- die Verlässlichkeit der Ergebnisse (Replikation der Untersuchung, Validierung durch andere Untersuchungen und theoretische Modelle, die Veröffentlichung in einer anerkannten Fachzeitschrift).

In einem dritten Schritt sollte eine Einschätzung der gesundheitlichen Risiken von Mobilfunkfeldern auf den Menschen gegeben werden, die mit Hilfe der ausgewählten wissenschaftlichen Untersuchungen begründet werden müssen.

Weiterhin sollte eine Stellungnahme zum Forschungsbedarf und eine ausführliche Dokumentation der einzelnen Arbeitsschritte verfasst werden.

2. Ergebnisse der Gutachten

Im Folgenden werden die zentralen Schlussfolgerungen der vier Gutachten dargestellt. Dabei wird zwischen der Risikobewertung und den Empfehlungen zum Risikomanagement getrennt.

2.1 Risikobewertung

Die Gutachter stimmen darin überein, dass es keinen Nachweis eines gesundheitlichen Risikos für den Menschen bei Expositionen unterhalb der Grenzwerte gibt. Sie unterscheiden sich jedoch im Hinblick auf die Bewertung der Verdachtsmomente:

Das **Ecolog-Gutachten** begründet seine Risikobewertung mit seiner Einschätzung der Forschungsergebnisse zur Krebsentwicklung, zu Schwächungen des Immunsystems sowie zu Einflüssen auf das zentrale Nervensystem und auf kognitive Funktionen. Hierbei wird wie folgt geurteilt (siehe Ecolog, S. 35f):

- „Untersuchungsergebnisse für alle Ebenen der Krebsentwicklung von der Schädigung der Erbsubstanz, über die ungehemmte Vermehrung von Zellen und Schwächungen des Immunsystems (s.u.) bis zur Manifestation der Krankheit belegen Wirkungen bei Leistungsflussdichten von weniger als 1 W/m^2 , für einzelne Stufen der Entwicklung der Krankheit sind möglicherweise bereits Intensitäten von $0,1 \text{ W/m}^2$ und weniger wirksam.“
- „Experimente an Versuchstieren belegen nachteilige Einflüsse auf das Immunsystem ab 1 W/m^2 , bei $0,2 \text{ W/m}^2$ sind beim Menschen erhöhte Ausschüttungen von Stress-Hormonen nachweisbar.“

- „Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das zentrale Nervensystem sind für Intensitäten deutlich unter den geltenden Grenzwerten belegt. Messbare physiologische Veränderungen wurden für Intensitäten von $0,5 \text{ W/m}^2$ nachgewiesen. Beeinträchtigungen kognitiver Leistungen sind bei Tieren ab 2 W/m^2 belegt.“
- „Auf der Grundlage des derzeitigen Erkenntnisstandes ist es unmöglich, das Risiko elektrosensibler Reaktionen für die Allgemeinbevölkerung, die sich aus sensiblen und nicht-sensiblen Personen zusammensetzt, abzuschätzen oder gar in Empfehlungen für Grenzwerte umzusetzen.“

Allerdings erschließt sich die Bedeutung dieser Bewertungen für die Frage, ob unterhalb der Grenzwerte Risiken nachweisbar sind, erst unter Hinzunahme anderer Stellungnahmen des Ecolog-Instituts⁴. Dort wird deutlich, dass die oben aufgelisteten Wirkungen nicht als Nachweis zu verstehen sind, sondern als Verdachtsmomente (in der Terminologie von Ecolog: „bis hin zu konsistenten Hinweisen“).

Glaser kommt in seiner abschließenden Bewertung zu folgender Bewertung: „Generell ist festzustellen, dass es in der Auswertung der wissenschaftlichen Publikationen keinen Anhaltspunkt dafür gibt, dass die derzeit im Mobilfunk verwendeten Felder, im Rahmen der in den o.a. Dokumenten festgelegten Grenzwerte gesundheitliche Schäden verursachen. Dies betrifft kontinuierliche Felder, amplituden- und frequenzmodulierte Felder sowie solche, mit einem Puls-Muster entsprechend z. B. der GSM-Norm. Diese Einschätzung basiert auf den in der Studie im Detail diskutierten Experimenten mit menschlichen Probanden und an Versuchstieren sowie auf *in-vitro*-Experimenten mit Zellkulturen, und bezieht sich sowohl auf akute Befindlichkeits-Störungen als auch auf Spätfolgen, wie z. B. die Krebsentstehung.“ (Glaser S. 69).

Und weiter: „Wenn auch noch nicht durch unabhängige Untersuchungen bestätigt, so liegen andererseits inzwischen einige wenige, jedoch ernst zu nehmende Befunde an Probanden vor, die auf „Effekte“ an Menschen in einem Dosisbereich unterhalb der Grenzwerte hinweisen (elektrophysiologische Signale, Hormon-Veränderungen). Wenn diese Veränderungen auch im Bereich alltäglicher Schwankungen und Auslenkungen liegen, vergleichbar solchen, die z. B. durch plötzliche Geräusche, optische Signale etc. ausgelöst werden oder durch alltägliche pharmakologische Beeinflussungen (z.B. durch Coffein), so weisen sie doch, falls sie sich reproduzierbar bestätigen ließen, auf bisher unbekannte biophysikalische Mechanismen der Wechselwirkung der Felder mit dem biologischen System hin. Wenn diese Befunde auch die oben getroffene Aussage bezüglich gesundheitlicher Irrelevanz nicht in Frage stellen, so ist es dennoch erforderlich, diesen Phänomenen nachzugehen und

⁴ Siehe <http://www.Ecolog-institut.de/grenzwert.htm#Vorsorgegrenzwerte> zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern

die ihnen zugrunde liegenden Mechanismen und Bezüge zu klären. (Glaser, S. 66).

Das **Öko-Institut** stellt fest: „Aus unserer Sicht sind auf dem aktuellen Kenntnisstand die folgenden Schlussfolgerungen zu ziehen: „Ein wissenschaftlich begründeter Verdacht auf nicht-thermische gesundheitliche Auswirkungen liegt zum jetzigen Zeitpunkt nicht vor. Damit ist hier gemeint, dass bisher kein wissenschaftlich abgesicherter Wirkungsmechanismus entdeckt wurde, dem sich eindeutig gesundheitliche Wirkungen zuordnen lassen“ (S. 88).

An anderer Stelle bewertet das Öko-Institut im gleichen Sinne: „Es ist zum jetzigen Zeitpunkt klar, dass es noch nicht genug zielgerichtete Forschungsergebnisse gibt, um aus diesen ableiten zu können, ob die normale Nutzung von mobilen Telefonen zu einer Schädigung der menschlichen Gesundheit führt. Um einen solchen Schluss ziehen zu können, müssten mögliche Wirkungsmechanismen besser verstanden werden, als dies bislang der Fall ist. Auch gibt es zum jetzigen Zeitpunkt noch große Lücken in dem Kenntnisstand bezüglich biologischer Effekte. Es gibt aber viele Hinweise, dass die Exposition durch Nutzung von Mobiltelefonen biologische Effekte hervorruft, die gesundheitliche Auswirkungen zur Folge haben können“ (Öko-Institut, S. 81).

Im Gutachten von **Silny** wird folgende Schlussfolgerung gezogen: „Insgesamt betrachtet liefert die Gesamtheit der experimentellen Untersuchungen nur wenige vage Andeutungen auf mögliche athermische Wirkungen der Mobilfunkfelder, die auch durch Unzulänglichkeiten bei der Durchführung der Experimente erklärt werden könnten. Die absolute Mehrheit der Publikationen stützt die Existenz athermischer Effekte in Feldern des Mobilfunks nicht, darüber hinaus fehlen auch nachvollziehbare Wirkungsmechanismen. Auch die Behauptung, dass Kinder, ältere Menschen oder Kranke einer besonderen Gefährdung durch die Mobilfunkfelder ausgesetzt sind, wird in der Literatur nicht bestätigt. Die laufende wissenschaftliche Auseinandersetzung, die vorrangig auf athermische Effekte von Feldern, wie sie etwa bei Handys vorkommen, zielt, hat bisher keine konkrete Bestätigung gebracht. Die wesentlich schwächeren Felder der Basisstationen müssen in Anbetracht der bisherigen Resultate als völlig harmlos angesehen werden.“ (Silny, S. 4f).

2.2 Risikomanagement

Die Gutachter ziehen aus ihren Risikobewertungen unterschiedliche Schlussfolgerungen für das Risikomanagement:

Ecolog plädiert für einen Vorsorgegrenzwert von $0,01 \text{ W/m}^2$ in der Nachbarschaft von Basisstationen. Für Mobiltelefone wird eine Absenkung auf maximal $0,5 \text{ W/m}^2$ als dringend erforderlich angesehen. Weitere Maßnahmen betreffen Kinder und Jugendliche: „Diese Bevölkerungsgruppe sollte deshalb

zumindest nicht direkt beworben werden. Außerdem sollten besondere Anstrengungen unternommen werden, um die Belastungen beim Telefonieren zu verringern.“ (Ecolog, S. 37).

Glaser sieht die Notwendigkeit, die in der Bundesrepublik Deutschland gültige 26. BImSchV auf mobile Sendeanlagen, d.h. auf das Mobiltelefon auszuweiten. Außerdem hält er zwei Erweiterungen für erforderlich: (1) Die Mitteilung des SAR-Wertes über 6-Minuten Intervalle ist durch eine Dosimetrie-Vorschrift zu ersetzen, die möglichen Wirkungen kurzzeitiger Intensitätsschwankungen (transiente Befeldung) Rechnung trägt. (2) Spezielle Normen sollten für Grenzwerte der kurzen Feldpulse entwickelt werden. Gleichzeitig bemerkt er aber: „Von dieser speziellen Forderung abgesehen kann jedoch eingeschätzt werden, dass die derzeit geltenden Normen und Empfehlungen einen ausreichenden Schutz der Bevölkerung vor möglichen Einwirkungen nichtionisierender Strahlung gewährleisten.“ (Glaser, S.65).

Das **Öko-Institut** findet es nicht gerechtfertigt, Vorsorgewerte festzulegen, welche die Weiternutzung oder Etablierung einer Technik weitestgehend unterbinden würden (hier wird die Forderung des Bundesverbandes gegen Elektromog von 1999 aufgeführt). Als bevorzugte Lösung wird ein Maßnahmen-Katalog – mit dem Ziel bei der Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern Vorsicht walten zu lassen – vorgeschlagen. Entsprechende Maßnahmen sind: Aufnahme eines Minimierungsgebots in die 26. BImSchV, Anwendung der Grenzwerte auch auf Mobiltelefone, Berücksichtigung des zunehmenden Ausmaßes der Exposition und zusätzlicher Schutz besonders sensibler Personen, insbesondere von Kindern.

Für **Silny** besteht kein Handlungsbedarf, die geltenden Sicherheitsgrenzwerte der 26. Verordnung zum Bundesimmissionsschutz (26. BImSchV) bezüglich des Mobilfunks zu ändern.

2.3 Einschätzung der Gutachten durch MUT

Es ist festzuhalten, dass sich die Gutachten insbesondere hinsichtlich dreier Fragen unterscheiden: (1) Ob es Hinweise auf Effekte für den Menschen unterhalb der Grenzwerte gibt, wie stark diese Hinweise sind und welche Bedeutung sie für die Risikobewertung haben; (2) ob diese Effekte Vorsorge erforderlich machen; (3) ob und welche Vorsorgemaßnahmen sich aus der Befundlage eindeutig ableiten lassen. Es ist aber auch deutlich, dass die Gutachten darin übereinstimmen, dass es keine nachgewiesenen Risiken bei Expositionen unterhalb der Grenzwerte gibt. In diesem Punkt stimmen sie mit anderen internationalen Gutachten überein.

Unserer Auffassung nach gehen die Gutachter von unterschiedlichen Grundannahmen aus. Ecolog und das Öko-Institut legen ihren Gutachten ihre jeweiligen Interpretationen des Vorsorgeprinzips zugrunde. Glaser und Silny diskutieren das Vorsorgeprinzip nicht, da es nicht expliziter Bestandteil des Gutachterauftrags war.

Diese Differenz ist maßgeblich und wird noch zu diskutieren sein. Gerade weil das Vorsorgeprinzip in der Fassung der EU (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2000) eigentlich ein Risikomanagementprinzip und kein Risikobewertungsprinzip ist, sollte es keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Risikobewertung haben. Die EU definiert das Vorsorgeprinzip als eine Form des Risikomanagements, das in Fällen anzuwenden ist,

"in denen die wissenschaftlichen Beweise nicht ausreichen, keine eindeutigen Schlüsse zulassen oder unklar sind, in denen jedoch aufgrund einer vorläufigen und objektiven wissenschaftlichen Risikobewertung begründeter Anlass zu der Besorgnis besteht, dass die möglicherweise gefährlichen Folgen für die Umwelt und die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen mit dem hohen Schutzniveau der Gemeinschaft unvereinbar sein könnten." (S. 12)

Damit wird deutlich, dass auch unter Vorsorgeaspekten die Risikobewertung ohne Qualitätsabstriche durchzuführen ist. Es ist jedenfalls nicht so, dass Qualitätsanforderungen an wissenschaftliche Studien sowie Standards bei der Erstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes gelockert werden. Dies wird auch von den vier Gutachtern so gesehen, dennoch finden sich z. T. in bezug auf einzelne Studien unterschiedliche Bewertungen. Im EU Papier zur Vorsorge bleibt allerdings auch offen, nach welchen Kriterien definiert werden soll, was ein „begründeter Anlass“ zur Besorgnis ist.⁵

Es ist deshalb notwendig, sich über die Grundsätze der Risikobewertung ein klares Bild zu machen. Erst dann kann erkannt werden, ob und in welchem Ausmaß die Gutachter diesen Grundsätzen folgten und ob unter dem Maßstab der Vorsorge davon abgewichen wurde. Dabei wird auch zu diskutieren sein, ob es gute Gründe gibt, Risikobewertungen unter dem Vorsorgeprinzip anders durchzuführen.

3. Grundsätze für den wissenschaftlichen Dialog über die Gutachten

MUT geht davon aus, dass bei einem wissenschaftlichen Dialog über Risikobewertungen Spielregeln einzuhalten sind. Die Auseinandersetzung um die Risikobewertung muss: (1) auf dem besten fachlichen Wissen aufbauen, (2) die Zusammenfassung der verschiedenen Untersuchungen zu einem wissen-

⁵ Dazu schreibt der Sachverständigenrat für Umweltfragen „Das durch Art. 20a GG nunmehr auch verfassungsrechtlich verankerte Vorsorgeprinzip besagt, dass der Staat schon dann zum Handeln aufgerufen ist, wenn Schadensmöglichkeiten gegeben sind, die sich nur deshalb nicht ausschließen lassen, weil nach dem derzeitigen Wissensstand bestimmte Ursachenzusammenhänge weder bejaht noch verneint werden können und daher insoweit noch keine Gefahr, sondern nur ein Gefahrenverdacht oder ein „Besorgnispotential“ besteht. Allerdings hat der Umweltrat stets betont, dass es sich um einen wissenschaftlich plausiblen Verdacht handeln muss, mit anderen Worten, ein lediglich spekulatives Risiko, das auf bloßen Vermutungen beruht, keine Rechtfertigung für staatliche Eingriffe in die Rechte potentieller Verursacher zur Reduzierung des vermuteten Risikos darstellt. Daran ist festzuhalten.“ (SRU 1999, S. 91)

schaftlichen Gesamtbild hat nach etablierten Regeln zu erfolgen und (3) die darauf aufbauende Risikocharakterisierung muss den Richtlinien der wissenschaftlichen Risikoanalyse entsprechen.

Die ICNIRP, die amerikanische Umweltbehörde EPA, der australische National Health and Medical Research Council NHMRC sowie die Internationale Agentur für Krebsforschung IARC, die OECD und die EU-Kommission haben eine Reihe von Standards entwickelt, auf die aufgebaut werden kann. Dabei handelt es sich um Leitlinien zur Literatursuche, zur Analyse und zur Darstellung von wissenschaftlichen Untersuchungen, zur Risikoanalyse und Risikocharakterisierung sowie zur Kommunikation.⁶ Diesen Leitlinien folgt MUT bei den fünf verschiedenen Bausteinen des wissenschaftlichen Dialogs.

Baustein 1: Prüfung der Datenbasis der Gutachten

Aufgrund unterschiedlicher Schwerpunktsetzungen sowie Suchstrategien bei der Auswahl wissenschaftlicher Literatur können bei der Erstellung der Datenbasis erhebliche Unterschiede zustande kommen. Ist das der Fall, so sind unterschiedliche Bewertungsergebnisse nicht verwunderlich.

Es muss folglich geprüft werden, ob die in den vier Gutachten ausgewählten 100 Studien identisch sind, bzw. wie groß die gemeinsame Schnittmenge ist. Die Ergebnisse dieser Prüfung finden sich in Kapitel 4.

Baustein 2: Auswahl relevanter Themenbereiche

Bei der Prüfung der gesundheitlichen Wirkungen der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks können verschiedene Bereiche (Endpunkte) untersucht werden und es kann auf eine Vielzahl ganz unterschiedlicher Untersuchungsverfahren zurückgegriffen werden. Grob charakterisiert sind das:

- Epidemiologische Untersuchungen an Menschen
- Experimentelle Untersuchungen an Menschen
- Tierexperimentelle Studien
- In-Vitro-Studien an Organen, Gewebeproben oder Zellen

Im wissenschaftlichen Dialog muss eine Einigung darüber erzielt werden, welche Themenbereiche für die Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen des Mobilfunks eine besondere Bedeutung haben. Dies gilt insbesondere dann, wenn sich bei der Prüfung der Datenbasis deutliche Differenzen ergeben.

⁶ Siehe hier u.a.: ICNIRP Statement 2002, National Health and Medical Research Council, 1999, 2000, The Presidential/Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management Final Report Volume 2, 1997, National Research Council: Understanding Risk 1996. EPA Risk Assessment Guidelines (<http://www.epa.gov/ncea/raf/rafguid.htm>), Technical guidance document

Die relevanten Bereiche sind auszuwählen. Im Detail wird dies in Kapitel 5 beschrieben.

Baustein 3: Einbeziehung zusätzlicher beratender Experten

MUT geht davon aus, dass bei dem wissenschaftlichen Dialog zur Risikobewertung komplexe Detailfragen zu klären sind, die das Hinzuziehen von sachkundigen Experten für die einzelnen Themenbereiche erforderlich machen.

Die Gründe dafür sind im Einzelnen: (1) Die Spannweite der relevanten Themenfelder (Krebserkrankungen, Fortpflanzungsstörungen, kognitive Leistungen, Untersuchung von Stresshormonen und Untersuchungen an Chromosomen und der Zellkommunikation etc.) ist so groß, dass sie von einem Einzelnen in allen Details nicht mehr kompetent bewertet werden kann. (2) Für die Interpretation subtiler Effekte sind zuweilen eigene experimentelle Erfahrungen mit den angewandten Untersuchungsmethoden erforderlich oder zumindest hilfreich. Diese Erfahrungen besitzen jedoch Wissenschaftler nur in ihren eigenen Forschungsgebieten. Sie sind deshalb in fremden Forschungsgebieten auf kollegiale Unterstützung angewiesen.

Bei der Auswahl der zusätzlichen Experten ist darauf zu achten, dass sie als zusätzliche Teilnehmer von den bereits am Dialog Beteiligten akzeptiert werden. Ziel war es deshalb, jeweils solche Experten zu gewinnen, die keine Parteienstellung im wissenschaftlichen Streit um die Risikopotenziale von EMF haben und die über eine hohe wissenschaftliche Expertise in bezug auf die jeweilige Fragestellung verfügen.

Weitere Informationen zur Auswahl der Experten finden sich in Kapitel 5.

Baustein 4: Prüfung der wissenschaftlichen Untersuchungen und Erstellung eines wissenschaftlichen Gesamtbildes

Nach der Einigung auf die Datenbasis steht die Prüfung der Aussagekraft der Untersuchungen an. In der medizinischen Forschung findet sich dazu ein Ansatz – die evidenzbasierte Medizin. Sie gibt Regeln vor, wie bei der Prüfung von wissenschaftlichen Untersuchungen zur Erstellung eines wissenschaftlichen Gesamtbildes vorzugehen ist.⁷

Für den Bereich elektromagnetischer Felder heißt das, die vorhandenen Untersuchungen sind im Hinblick auf folgende Kriterien zu bewerten:

⁷ Vgl. National Health and Medical Research Council (2000): „How to use the evidence: assessment and application of scientific evidence“ (online verfügbar unter: <http://www.nhmrc.health.gov.au/publications/pdf/cp69.pdf>)

- Aussagekraft des Untersuchungsansatzes (Generelle Eignung zur Prüfung eines Kausalzusammenhangs)
- Absicherung der Befunde gegen den Zufall, Störvariablen und Messfehler
- Dosimetrische und frequenzspezifische Relevanz der Befunde für den Mobilfunk
- Relevanz des Effekts für die Bewertung gesundheitlicher Auswirkungen auf den Menschen

Untersuchungen können zu falsch positiven oder zu falsch negativen Resultaten führen. Sie sind deshalb kritisch zu prüfen. Zuerst ist die prinzipielle Eignung der Untersuchungen zu beurteilen. Ist die Fehleranfälligkeit der in den Studien angewandten Tests bzw. Messinstrumente noch tolerierbar?

Auch Resultate von im Prinzip geeigneten Untersuchungsansätzen sind kritisch zu prüfen: So ist zu entscheiden, ob die Befunde nicht auch durch Zufall produziert sind. Sind Stichproben- und andere Fehler minimiert? Sind Störvariablen ausgeschaltet oder zumindest kontrolliert?⁸

Die dosimetrische Relevanz bezieht sich auf die Expositionsbedingungen. Es muss erkennbar sein, dass die Effekte bei Befeldungen unterhalb der Grenzwerte (im Bereich der thermischen Wirkungsschwelle) auftreten. Denn für die Bewertung, ob *unterhalb* der Grenzwerte Risiken bestehen, sind Untersuchungen mit Expositionen *oberhalb* der Grenzwerte nur dann bedeutsam, wenn es möglich ist, durch Kenntnis quantitativer Dosis-Wirkungs-Beziehungen von hohen Expositionen auf die schwächeren zu extrapolieren. Frequenzspezifische Relevanz meint, dass Befunde bei Frequenzen und Modulationsformen, die von denen des Mobilfunks abweichen – also beispielsweise niederfrequente Felder – nur bedingt zur Bewertung des Mobilfunks herangezogen werden können.

Die gesundheitliche Relevanz der Studien für den Menschen ist von zwei Faktoren abhängig: Zum einen, ob die Studie, wenn sie nicht am Menschen gemacht wurde, auf den Menschen übertragbar ist und zum anderen davon, ob der gewählte Messpunkt gesundheitlich relevant ist. Dabei sind vier Abstufungen denkbar:

- die Effekte sind gesundheitsbeeinflussend,
- die Effekte weisen plausibel auf eine Schädigung hin,
- für die Effekte kann weder ausgeschlossen noch angenommen werden, dass sie gesundheitsschädlich sind,
- die Effekte liegen in einem auch für Langzeitexpositionen tolerierbaren Bereich.

⁸ Für eine umfassende Diskussion dieser Problematik siehe die Stellungnahme von Westermann in Anhang A sowie: Westermann, R. (2000): Wissenschaftstheorie und Experimentalmethodik: Ein Lehrbuch zur psychologischen Methodenlehre. Göttingen: Hogrefe.

Auf diesen Prüfungen aufbauend muss das wissenschaftliche Gesamtbild in den verschiedenen Untersuchungsbereichen charakterisiert werden. Dabei sind Unstimmigkeiten und Widersprüche zwischen den Untersuchungen – so weit dies geht – zu erklären.

Die Ergebnisse dieser Prüfung sind – getrennt für die einzelnen Themenfelder – in Kapitel 6 zusammengestellt.

Baustein 5: Abschließende Charakterisierung der Pro- und Kontra-Argumente für Risikohinweise

Abschließend sind die Pro- und Kontra-Argumente, die für oder gegen das Vorhandensein von Hinweisen auf ein Risiko angeführt werden, herauszuarbeiten und gegeneinander abzuwägen.⁹ Der Leitfaden zur Risikoevaluation des kalifornischen EMF Projekts (1999) dient dabei als Vorbild. Kriterien für die Abwägung der Argumente sind – wie in Baustein 4 ausgeführt – vor allem die Aussagekraft des Untersuchungsansatzes für die Erforschung eines Kausalzusammenhangs zwischen EMF-Exposition und Effekt sowie die Relevanz der Untersuchungsergebnisse für die Beurteilung gesundheitlicher Auswirkungen auf den Menschen.

Für jedes Themenfeld wurden die wesentlichen Pro- und Kontra-Argumente von MUT herausgearbeitet und im Konsens mit den Gutachtern und den beratenden Experten abgestimmt. Abschließend haben die vier Gutachter – jeweils aus ihrer Sicht – noch einmal diese Pro- und Kontra-Argumente gewichtet. Die entsprechenden Wertungen finden sich jeweils am Ende der Kapitel 6.1 bis 6.7.

4. Prüfung der Datenbasis der Gutachten

Als Vorgabe für die Erstellung ihrer Gutachten waren die vier Gutachter aufgefordert worden, die einhundert wichtigsten Arbeiten für die Risikobewertung auszuwählen. Das ist ein erster Test für die Konsenschancen bei der Risikobewertung. Denn nur wenn es in bezug auf die wichtigsten Arbeiten eine weitgehende Übereinstimmung zwischen den Gutachtern gibt, besteht die Chance auf eine einheitliche Ausgangsbasis. Die vier Gutachter stimmen darin überein, dass allein Arbeiten, die wissenschaftlichen Qualitätsanforderungen genügen, die Grundlage für eine Risikobewertung darstellen können. Deshalb haben sie – bis auf wenige Ausnahmen – solche Arbeiten ausgewählt, die in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht wurden und die so bereits eine fachliche Prüfung auf Einhaltung wissenschaftlicher Qualitätsstandards durchlaufen haben.

⁹ Siehe dazu das Handbuch der EPA zur Risikocharakterisierung (EPA 2000)

4.1 Analyse der Datenbasis

Ausgangspunkt für die Analyse der Datenbasis waren die in den vier Gutachten enthaltenen Literaturlisten. Das Ecolog-Institut führt insgesamt 231 Arbeiten auf, von denen 113 – dem Auftrag entsprechend – als wichtig gekennzeichnet sind. Das Gutachten von Prof. Glaser enthält 244 Arbeiten, von denen 112 als wichtig gekennzeichnet sind. Die Literaturliste des Öko-Institut-Gutachtens listet 121 als wichtig eingeschätzten Arbeiten und das Gutachten von Prof. Silny 123 als wichtig eingeschätzte Arbeiten auf. Insgesamt werden in den vier Gutachten 320 *verschiedene* als wichtig eingeschätzte Arbeiten bzw. 489 Arbeiten insgesamt aufgeführt.

Tabelle 1: Übereinstimmungen der Gutachter für die 100 wichtigsten Arbeiten

Schnittmenge	Anzahl der Arbeiten	Prozent
von nur einem der vier Gutachter zitiert	232	73 %
von jeweils zwei der vier Gutachter zitiert	43	13 %
von jeweils drei der vier Gutachter zitiert	29	9 %
von allen vier Gutachtern zitiert	16	5 %
Σ	320	100%

Allerdings ist die Übereinstimmung in der erfassten Literatur zwischen den Gutachten gering. Nur 5%, das sind 16 der 320 Arbeiten, finden sich in allen vier Gutachten 73% oder 232 der 320 Studien werden jeweils nur von einem Gutachter berücksichtigt, 13% werden in zwei der vier Gutachten und 9% in drei der Gutachten aufgeführt (siehe Tabelle 1).

Selbst dann, wenn man annimmt, dass es versteckte Übereinstimmungen (falsche Literaturverweise, Doppelpublikation gleicher Inhalte in verschiedenen Zeitschriften) gibt und die gemeinsame Schnittmenge aus Vorsichtsgründen verdoppelt, beträgt die gemeinsam verwendete Literatur aller Gutachter nur 10% der insgesamt genutzten wissenschaftlichen Literatur.

Diese geringe Übereinstimmung wird auch nicht wesentlich verändert, wenn man für Ecolog und Glaser nicht nur die 100 wichtigsten Arbeiten einbezieht, sondern alle von ihnen aufgeführten Studien (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Übereinstimmungen der Gutachter für alle berücksichtigten Arbeiten

Schnittmenge	Anzahl der Arbeiten	Prozent
Von nur einem der vier Gutachter zitiert	337	70 %
Von jeweils zwei der vier Gutachter zitiert	84	17 %
Von jeweils drei der vier Gutachter zitiert	32	7 %
Von allen vier Gutachtern zitiert	30	6 %
Σ	483	100 %

Tabelle 3 zeigt die Schnittmengen zwischen jeweils 2 Gutachtern an; unabhängig davon, welche anderen Übereinstimmungen noch zu anderen Gut-

achtern vorliegen. Der paarweise Vergleich von übereinstimmenden Literaturstellen zeigt, dass es keine „wissenschaftspolitische Lagerbildung“ gibt, etwa Glaser und Silny versus Ecolog und Öko-Institut. Die auf den ersten Blick plausible Hypothese, wissenschaftspolitische Differenzen spielten bei der Auswahl der Arbeiten eine Rolle, findet damit keine Bestätigung.

Tabelle 3: Paarweise Übereinstimmungen (Absolute Häufigkeiten in Klammern)

	Zitiert in Ecolog-Institut	Zitiert in Glaser	Zitiert in Öko-Institut	Zitiert in Silny
Auch zitiert in Ecolog-Institut	-	32% (36)	26% (32)	35% (43) *
Auch zitiert in Glaser	32% (36)	-	26% (32)	37% (46)
Auch zitiert in Öko-Institut	28% (32)	29% (32)	-	30% (37)
Auch zitiert in Silny	38% (43) *	41% (46)	31% (37)	-

* Lesehilfe: 38% der Arbeiten, die Ecolog zitiert, werden auch in Silny zitiert, 35% der Arbeiten, die Silny zitiert, werden auch in Ecolog zitiert. Die unterschiedlichen Prozentwerte bei gleichen absoluten Häufigkeiten ergeben sich aus den verschiedenen langen Literaturlisten der Gutachter.

Bei der Bewertung der geringen Übereinstimmung in der Datenbasis ist zu berücksichtigen, dass die Gutachten zu unterschiedlichen Zeitpunkten in Auftrag gegeben und fertiggestellt wurden (s.o.), so dass die im Jahr 2000 erschienenen Arbeiten nicht in gleicher Weise berücksichtigt werden konnten.

Ein differenzierteres Bild ergibt sich, wenn man die Übereinstimmungen in der Datenbasis für die einzelnen für das Projekt ausgewählten Themenfelder (siehe dazu im Detail das Kapitel 5.1) getrennt ansieht.

4.2 Analyse der Datenbasis für die einzelnen Themenfelder

Die Analyse der Datenbasis für die einzelnen Themenfelder basiert auf allen in den Gutachten angeführten Arbeiten, also für Ecolog und Glaser nicht nur auf den als wichtig gekennzeichneten Studien. Damit wird zum einen eine konservative Betrachtung zugrunde gelegt, die die Chance auf Übereinstimmung zwischen den Gutachtern erhöht. Zum anderen spiegelt dies aber auch die Diskussionen der Themenfelder in den Workshops wider, bei denen auch nicht zwischen als wichtig gekennzeichneten Arbeiten und nicht gekennzeichneten Arbeiten unterschieden wurde. Um eine möglichst weitgehende Übereinstimmung in der Literatúrauswahl für die einzelnen Themenfelder zu gewährleisten, wurden darüber hinaus bei dieser Detailanalyse alle diejenigen Arbeiten ab dem Jahr 2000 ausgeschlossen, die vom Ecolog-Institut wegen des frühen Abgabetermins nicht mehr berücksichtigt werden konnten. In die Analyse nicht eingeschlossen wurden außerdem von einzelnen Gutachtern angeführte Übersichtsartikel, in denen die Forschungsergebnisse zu einem Thema zusammenfassend dargestellt werden.

Betrachtet man die einzelnen für das Projekt ausgewählten Themenfelder getrennt, so zeigen sich große Schwankungen in der Übereinstimmung der Datenbasis. Immerhin werden für das Thema Schlafverhalten / Schlaf-EEG noch 50 Prozent der Arbeiten von allen vier Gutachtern aufgeführt. Allerdings wurden zu diesem Themenfeld insgesamt auch nur 6 Arbeiten in den Gut-

achten genannt. Am geringsten ist die Übereinstimmung zwischen den Gutachtern bei Tierstudien zur Teratogenese. Hier wurde keine der insgesamt 34 Arbeiten von allen vier Gutachtern angeführt, und es gibt auch nur eine Arbeit, die wenigstens von drei Gutachtern zitiert wurden. 85 Prozent der in den Gutachten zu diesem Thema zitierten Arbeiten wurden nur in jeweils einem Gutachten behandelt. Und auch für die Themen Stress-Hormone und Kalzium-Homöostase wurde keine Arbeit von allen vier Gutachtern angeführt. Abbildung 2 gibt eine Übersicht zum Ausmaß der Übereinstimmung.

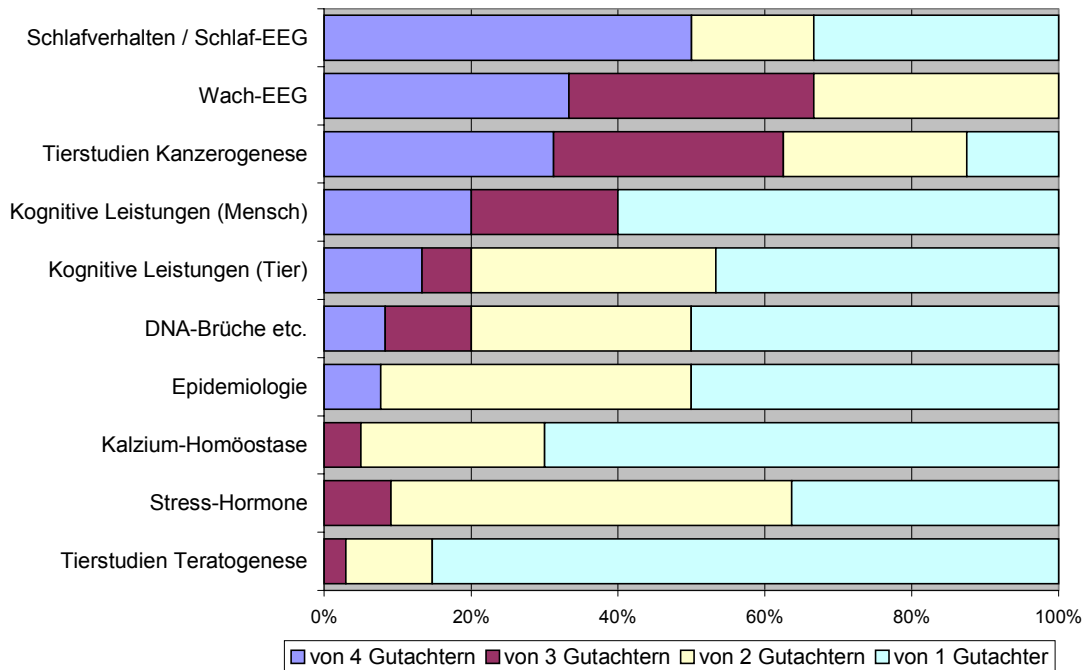


Abbildung 2: Prozentuale Übereinstimmung der Gutachter für die einzelnen Themenfelder

4.3 Schlussfolgerungen

Für diese deutlichen Unterschiede in der Literatursauswahl gibt es eine Reihe von Gründen (die zum Teil auch von den Gutachtern selbst während der Workshop-Diskussionen genannt wurden): So kann angenommen werden, dass manche Untersuchungen mehrfach in unterschiedlichen Zeitschriften publiziert wurden. In diesem Fall wäre das relevante Kriterium für die Beurteilung der Übereinstimmung in der Datenbasis nicht die Einbeziehung einer bestimmten Publikation, sondern eines bestimmten Untersuchungsergebnisses. Ein weiterer Grund ist, dass Gutachter mitunter darauf verzichtet haben, ältere Arbeiten eines Autors bzw. einer Autorengruppe zu zitieren, wenn in deren neueren Arbeiten auch die früheren Ergebnisse dargestellt werden.

Allerdings resultieren die Unterschiede in der Datenbasis auch aus unterschiedlichen Auswahlkriterien der Gutachter. Besonders drastisch zeigt sich dies beim Themenfeld Epidemiologie (siehe Kapitel 6.3). Hier berücksichtigen Silny und das Öko-Institut nur die beiden sich direkt auf Mobilfunk beziehen-

den epidemiologischen Studien, die zum damaligen Zeitpunkt vorlagen. Dagegen beziehen Glaser und das Ecolog-Institut Arbeiten mit ein, in denen die berufliche Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern bzw. die Exposition mit den Feldern von Rundfunk- und TV-Sendern untersucht werden. Andere Beispiele für unterschiedliche Auswahlkriterien sind, dass im Gutachten des Öko-Instituts auch einige Arbeiten zu niederfrequenten Feldern (50 / 60 Hz) diskutiert werden, während die anderen Gutachter solche Arbeiten nicht berücksichtigen, oder dass Silny als Einziger den Einfluss von Mobilfunkfeldern auf elektronische Implantate behandelt.

Die Unterschiede in der Datenbasis sind jedoch nur in wenigen Fällen darin begründet, dass bestimmte Arbeiten von einzelnen Gutachtern übersehen wurden. Dennoch bleibt der Befund, dass die Gutachter eine unterschiedliche Auswahl treffen. Dass muss nachdenklich stimmen und verweist auf die Notwendigkeit, Auswahlkriterien explizit zu machen, zu begründen und abzustimmen. In den Workshop-Diskussionen - in denen das geleistet wurde (siehe Kapitel 6) - war es deshalb auch möglich, sich in den einzelnen Themenfeldern auf die wesentlichen Studien zu einigen.

Damit erweist sich die geringe Übereinstimmung in der Datenbasis nicht als ein Problem der wissenschaftlichen Qualität der vier Gutachten, sondern als Problem der Risikokommunikation.

5. Vorbereitung und Strukturierung des wissenschaftlichen Dialogs

5.1 Die Auswahl der relevanten Themenfelder

Der erste Workshop, auf dem die Auswahl der Themenfelder diskutiert wurde, fand am 10. Juli 2001 im Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit in Aachen statt. Die Teilnehmer an diesem Workshop waren die vier Gutachter: für das Ecolog-Institut, Dr. Neitzke; Prof. Dr. Glaser, Humboldt Universität Berlin; für das Öko-Institut, Herr Küppers sowie Prof. Dr. Silny, RWTH Aachen. Von der Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik nahmen teil: Dr. Clauberg, Herr Schütz, Frau Thalmann und Dr. Wiedemann.

Als Einstieg in die Diskussion wurde von MUT die Auswertung der Übereinstimmungen bzw. Unterschiede in der Datenbasis – d.h. der in den vier Gutachten berücksichtigten Studien – vorgestellt und diskutiert.

Die Gutachter erläuterten anschließend ihr Vorgehen und ihre Kriterien bei der Auswahl der Literatur. Die Auswahl der Literatur erfolgte in allen Gutachten auf der Basis umfassender Literaturrecherchen und wurde wesentlich durch die Vorgabe von T-Mobile bestimmt, sich bei der Darstellung des Forschungsstandes nur auf eine begrenzte Zahl von Arbeiten zu beschränken. Genaue Angaben zum Vorgehen bei der Literaturauswahl finden sich in den

vier Gutachten. Die Gutachter stellten dann kurz die wesentlichen Ergebnisse ihrer Gutachten in bezug auf die Risikobewertung und die dabei zugrunde gelegten Argumente vor.

Anschließend ging es um die Feststellung des Diskussionsbedarfs. Ausgehend von einer Zusammenstellung der in den Gutachten behandelten Endpunkte¹⁰ bzw. Themen und der Ergebnisdarstellung der Gutachter wurden dann die Themen bestimmt, für die Klärungsbedarf unter der Gutachtern bestand.

Die vier Gutachter einigten sich auf neun Themenbereiche (siehe Tabelle 4). Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen: Zuerst wurden die Themenfelder, die in den vier Gutachten behandelt wurden, von MUT in ein einheitliches Schema gebracht, das in Tabelle 4 wiedergegeben ist. Danach bewertete jeder Gutachter jedes Themenfeld mit Hilfe einer vierstufigen Ratingskala (von 'kein/schwacher Hinweis' bis 'starker Hinweis'). Die Felder wurden ausgewählt, für die (1) die Gutachter zu unterschiedlichen Bewertungen kamen und (2) wo sie sich aber dennoch einig waren, dass das Themenfeld für die Risikobewertung zentral ist. Sie wurden anschließend von MUT gruppiert und in den drei folgenden Workshops behandelt.

Tabelle 4: Liste der in den Gutachten behandelten Endpunkte bzw. Themen

Themen
• Chromosomen-Mutation und –Aberration / DNA-Brüche
• Zellproliferation
• Untersuchungen zur Krebsentstehung an Tieren
• Epidemiologische Untersuchungen am Menschen
• Kalzium-Homöostase / -Haushalt
• Stress-Hormone
• Gehirnfunktion / EEG
• Schlafverhalten
• Kognitive Fähigkeiten / Lernverhalten / Aufmerksamkeit

5.2 Einbeziehung zusätzlicher beratender Experten

Eine wichtige Rolle für die Durchführung des Dialogs spielten die beratenden Experten. Deren Aufgabe war es, während der Workshops für die Klärung inhaltlicher Fragen im jeweiligen Themenfeld zur Verfügung zu stehen. Bei der Auswahl dieser Experten versuchte MUT Personen mit ausgewiesener Kompetenz in den entsprechenden Fachgebieten und Methoden zu finden, die jedoch bislang in der wissenschaftlichen und öffentlichen Debatte um mögliche Risiken von Mobilfunkfeldern nicht in Erscheinung getreten waren. Die von MUT ausgewählten Experten wurden von den vier Gutachtern ak-

¹⁰ Als Endpunkte werden die Messpunkte bezeichnet, die in einer Untersuchung analysiert werden. Beispiele dafür sind: Anzahl von Tumoren, Veränderungen im EGG oder in psychologischen Tests zur Analyse kognitiver Funktionen.

zeptiert. In Tabelle 5 sind für jedes Themenfeld die beratenden Experten aufgeführt.

Als Vorbereitung für die Workshopdiskussionen legte jeder Experte für sein Themenfeld eine schriftliche Stellungnahme vor, die den vier Gutachtern rechtzeitig vor den Workshops zugänglich gemacht wurde.

Tabelle 5: Themenfelder der Workshops und beratende Experten

Themenfeld	Beratende Experten	Ort / Termin
Kognitive Funktionen	Prof. Dr. Niels Birbaumer, Institut für Medizinische Psychologie, Universität Tübingen	Hannover, 26.9.2001
EEG / Schlaf	Dr. Peter Lüdemann, Klinik und Poliklinik für Neurologie, Universitätsklinik Münster	Hannover, 26.9.2001
Kanzerogene und teratogene Wirkungen: Tieruntersuchungen	Dr. Jochen Buschmann, Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Aerosolforschung, Hannover	Berlin, 24.10.2001
Kanzerogene und teratogene Wirkungen: Epidemiologische Untersuchungen	Dr. Joachim Schüz, Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation, Universität Mainz	Berlin, 24.10.2001
Kalzium-Homöostase und Stress-Hormone	Prof. Dr. Günter K. Stalla, Max-Planck-Institut für Psychiatrie, München	Darmstadt, 23.1.2002
Chromosomen-Mutation / DNA-Brüche, Zellproliferation	Dr. Bernd Görnitz, Fraunhofer Institut für Toxikologie und Aerosolforschung, Hannover	Darmstadt, 23.1.2002
Abschlussworkshop	Dr. Bernd Görnitz, Fraunhofer Institut für Toxikologie und Aerosolforschung, Hannover	Hannover 11.7. 2002

Als Vorgabe für die Abfassung dieser Stellungnahme wurden die beratenden Experten von MUT gebeten, die vier Gutachten in bezug auf die folgenden Punkte zu betrachten:

1. Sind die in dem jeweiligen Gutachten gezogenen Schlussfolgerungen bezüglich des Einflusses hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf den jeweils thematischen Endpunkt bzw. Effekt auf der Basis der dort präsentierten Belege (Primärstudien) plausibel? Hierbei sollten insbesondere die folgenden Aspekte berücksichtigt werden:
 - Sind in dem jeweiligen Gutachten wichtige Forschungsergebnisse/ wichtige Literatur unberücksichtigt geblieben bzw. nicht angemessen gewürdigt worden?
 - Ist die in den Primärstudien verwendete Methodik (Untersuchungsdesign, Expositionsmessung, Effektmessung, Auswertungsverfahren, etc.) angemessen?
 - Werden alternative Erklärungen für positive bzw. negative Befunde bedacht?
 - Wie ist die Konsistenz bzw. Inkonsistenz des wissenschaftlichen Gesamtbilds zu beurteilen?

2. Sind etwaige Schlussfolgerungen in dem jeweiligen Gutachten bezüglich der gesundheitlichen Relevanz der diskutierten Effekte auf der Basis der präsentierten wissenschaftlichen Studien plausibel?

Schließlich sollten die beratenden Experten, wenn möglich, auch eine Einschätzung bezüglich der Relevanz der in den Gutachten diskutierten Effekte bzw. Schädigungswirkungen für die Expositionsbedingungen von Basisstationen und Handys abgeben.

5.3 Die Workshops zu den einzelnen Themenfeldern

Auf jedem der Workshops wurden zwei Themenfelder behandelt (siehe Tabelle 5). Der Teilnehmerkreis der drei Workshops war, bis auf die beratenden Experten, jeweils identisch. Als Verfasser (bzw. Vertreter der Verfassergruppen) der vier Gutachten nahmen teil: Prof. Dr. Glaser (Humboldt Universität Berlin), Hr. Küppers (Öko-Institut Darmstadt), Dr. Neitzke (Ecolog Institut Hannover) und Prof. Dr. Silny (RWTH Aachen). Von der Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik (MUT) des Forschungszentrums Jülich nahmen teil: Hr. Schütz, Fr. Thalmann und Dr. Wiedemann.

Auch der Ablauf der Workshopdiskussionen folgte jeweils dem gleichen Schema: Zunächst wurde von MUT eine zusammenfassende, tabellarische Darstellung der Ergebnisse der vier Gutachten zum jeweiligen Themenfeld gegeben. Anschließend hatten die vier Gutachter Gelegenheit, diese Zusammenfassung zu kommentieren, zu ergänzen oder zu korrigieren und damit noch einmal ihre Einschätzung zum Themenfeld darzulegen. Danach folgte eine ausführliche Einschätzung des beratenden Experten, die sich an der oben wiedergegebenen Aufgabenstellung orientierte. Den breitesten Raum nahm die daran anschließende Diskussion der verschiedenen – zum Teil kontroversen – Punkte zwischen den Workshopteilnehmern ein.

Am fünften Workshop, auf dem der erste Entwurf des Endberichts von MUT diskutiert wurde, nahmen alle vier Gutachter sowie die Vertreter von MUT und als beratender Experte Herr Dr. Görlitz teil. Die anderen beratenden Experten konnten wegen anderen Verpflichtungen nicht anwesend sein. Allerdings hatten auch sie den Endbericht kommentiert und MUT ihre Korrekturen zur Verfügung gestellt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Gutachter Einigung über die Themenbereiche erzielten, die im Mittelpunkt des Dialogs stehen sollten. Auch bei der Wahl der beratenden Experten, die den Dialog in den verschiedenen Themenbereichen unterstützen sollten, gab es einen Konsens. Alle Diskussion verliefen in einer sachlich-kritischen Atmosphäre. Schließlich wurde auch der Endbericht einvernehmlich abgestimmt.

5.4 Erfahrungen bei der Organisation des Dialogprozesses

Zwischen der Fertigstellung des ersten Gutachtens am 25.4.00 und des Beginns des wissenschaftlichen Dialogs durch MUT im März 2001 lagen ein knappes Jahr. Bezieht man die rasche Entwicklung des wissenschaftlichen Wissens ein, so ist dieser Zeitraum einfach zu lang, um dem aktuellen Stand der Forschung Rechnung tragen zu können. Eine raschere Entscheidung seitens der T-Mobile über die Fortführung des Projekts hätte Missverständnissen vorgebeugt. Es wäre auch besser gewesen, wenn die T-Mobile - nach Vorlage aller vier Gutachten - diese selbst im Internet der Öffentlichkeit zugänglich gemacht hätte. So hätte man verhindern können, dass der Eindruck entsteht, man wolle diese Gutachten der Öffentlichkeit vorenthalten.

Der Dialogprozess begann - alle Vorbereitungen eingerechnet - im März 2001 und endete im September 2002. Diese Zeitspanne war länger als in der ursprünglichen Planung vorgesehen war. Das weist darauf hin, dass ein solcher Prozess zeitaufwendig ist und für alle Beteiligten einen erheblichen Arbeitsaufwand mit sich bringt. Insbesondere zeigte sich die Anfälligkeit für unvorhergesehene Ausfälle – wie Unfälle von Beteiligten –, die Verzögerungen bedingen.

Trotzdem konnte der Dialogprozess erfolgreich abgeschlossen werden. Das ist insbesondere der Bereitschaft zum sachlichen Umgang mit strittigen Fragen und dem Engagement aller Beteiligten zu verdanken. Dieses Resultat ist besonders zu würdigen, bedenkt man, dass das einzige vergleichbare Projekt in Deutschland – die Technikfolgenabschätzung zur grünen Gentechnik des Berliner Wissenschaftszentrums – im Dissens abgebrochen wurde.

Das Hinzuziehen jeweils verschiedener beratender Experten in jedem Themenfeld erwies sich als richtiger Weg. Ein ständiger Beirat – über alle Themenfelder hinweg – hätte den organisatorischen Aufwand vervielfacht. Wahrscheinlich wäre es auch nicht einfach gewesen, die ständige Teilnahme aller Beiratsmitglieder zu sichern.

Der Anspruch, immer Experten zu finden, die über einschlägige Fachkenntnisse verfügen und die nicht in irgendeiner Weise in die EMF-Debatte involviert sind, konnte nicht vollständig umgesetzt werden. Dies lag auch daran, dass das Kriterium der „Nicht-Parteienstellung“ eine regulative Idee ist und deshalb auf verschiedene Weise konkretisiert werden kann.

So wurde Herr Dr. Schüz, der dem Ausschuss „Nicht-ionisierende Strahlung“ der Strahlenschutzkommission angehört, als beratender Experte ausgewählt. Bei Herrn Dr. Buschmann war uns nicht bekannt, dass er vorher schon an einem Gutachten zu EMF für Vodafone beteiligt war. Für die übrigen beratenden Experten konnten alle Anforderungskriterien voll umgesetzt werden. Festzuhalten bleibt, dass die Auswahl der beratenden Experten zufriedenstellend gelöst werden konnte.

Der Prozess der Erörterung von Risikobewertungen war noch zeitaufwendiger als ursprünglich von uns angenommen wurde. Obwohl wir vier Workshops eingeplant hatten, hätte es auch gute Gründe gegeben, den Dialog um zwei oder drei Veranstaltungen zu erweitern. Viel mehr Zeit wäre vor allem für eine vertiefte Bewertung des wissenschaftlichen Gesamtbildes, die Erörterung und Operationalisierung von Schlüsselkonzepten (z. B. des Gesundheitsbegriffes) sowie – in der Endphase der Diskussion – bei der Formulierung der Empfehlungen im Abschlussbericht nötig gewesen.

Es gab intensive Diskussionen um den Befund der geringen Übereinstimmung der Gutachter bei der Auswahl der wissenschaftlichen Literatur sowie um die ursprünglichen Aufträge für die Gutachten. Hier machte Herr Dr. Neitzke darauf aufmerksam, dass die Gutachten – seiner Auffassung nach – offenbar mit verschiedenen Aufgaben betraut waren oder zumindest von verschiedenen Aufgabenverständnissen ausgegangen waren. Unterschiede in den Auftragslagen wurden auch von den anderen Gutachtern gesehen, allerdings wurden auch wesentliche Gemeinsamkeiten anerkannt. Festzuhalten ist: Die Gutachter wurden zu unterschiedlichen Zeiten beauftragt und die Gutachten lagen damit auch zu verschiedenen Zeitpunkten vor (siehe dazu Kapitel 1.1). Aus den Angeboten der beteiligten Gutachter geht jedoch hervor, dass sie im Kern einen gleichen Auftrag erhalten hatten.

Die Gutachtenangebote unterscheiden sich in ihren Bezügen auf das Vorsorgeprinzip. Prof. Glaser und Prof. Silny gehen darauf nicht ein. Sie setzen sich mit den derzeit bestehenden Grenzwerten bzw. den zugrundeliegenden Empfehlungen auseinander. Das Ecolog-Institut und das Öko-Institut greifen dagegen in ihren Angeboten die Frage der Vorsorge auf. Bei Ecolog findet sich das im Titel des Angebotes, beim Öko-Institut in der Angebotserweiterung. Aus unserer Sicht sichert aber der gemeinsame Kern der Aufträge die Vergleichbarkeit der Gutachten in Bezug auf die Risikoabschätzung.

Ein weiteres Problem entstand daraus, dass der Anhang des Ecolog-Gutachtens, der die Datenbankauszüge zu den verwendeten Studien enthielt, nicht in elektronischer Form vorlag und so den beratenden Experten vorab für die Erstellung ihrer schriftlichen Bewertungen nicht zugestellt wurde. Dieses Manko geht zu Lasten von MUT, konnte aber aufgeklärt werden.

Bei der Zusammenfassung der Diskussion im Endbericht spielte eine Rolle, dass es zu Meinungsverschiedenheiten kam, wer welche Äußerungen mit welchem Gewicht in der Diskussion vorgebracht hatte. Wir haben dieses Problem wie folgt gehandhabt: Jeder Teilnehmer bekam eine erste Version des Endberichts zugesandt und konnte dazu Stellung nehmen. Im Hinblick auf die Diskussion konnte jeder seine Äußerungen korrigieren. Kritik an der Wiedergabe der Äußerungen anderer Teilnehmer wurde unter deren Vorbehalt gestellt. Nur wenn diese zustimmten wurde eine Änderung vorgenommen. Diese Probleme hätten mit mehr Zeit und mit der Teilnahme aller beratenden Experten am Abschlussworkshop zufriedenstellender gelöst werden können.

Bedauerlicherweise konnte wegen der engen Terminpläne bis auf Herrn Dr. Görlitz kein anderer beratender Experte am Abschlusstermin in Hannover

teilnehmen. Dies erschwerte die abschließende Diskussion, obwohl Statements der beratenden Experten zu kritischen Gesprächspunkten eingeholt wurden.

Im Entwurf des Endberichtes haben wir – anschließend an die Darstellung der Diskussion – versucht, die wesentlichen Pro-Risiko- und Kontra-Risiko-Argumente der Workshopteilnehmer zusammenzufassen sowie die damit verbundenen Bewertungslogiken zu beschreiben. Unser Ziel war es, eine nachvollziehbare Bewertung zu versuchen und diese zur Diskussion zu stellen. Dieses Ziel ist – aus der Sicht der Risikokommunikation – besonders wichtig, weil erst eine solche gewichtete Pro- und Kontra-Charakterisierung der Öffentlichkeit und der Politik eine Vorlage liefert, Risikobewertungen nachvollziehen zu können. Diese Vorschläge wurden intensiv diskutiert und modifiziert. Im Endbericht werden die Gewichtungen der Workshopteilnehmer wiedergegeben.

Abschließend – und in gewisser Weise im Vorgriff auf unsere abschließende Bewertung des Dialogprojektes – stellt sich die Frage, ab wann der Grenznutzen eines Dialogs erreicht ist und wann weitere Klärungen kaum noch möglich sind. Damit ist die Frage angesprochen, was in einem Dialog über Risikobewertungen realistisch erreicht werden kann? Festzuhalten ist: Auch unser intensiver Dialog hat bei keinem der Gutachter zu einer Veränderung seiner grundsätzlichen Position geführt, obwohl sich Einzelbewertungen verändert haben. Es ist jedoch deutlicher geworden, warum sich die Bewertungen unterscheiden. In diesem Sinne war der Dialog erfolgreich.

6. Ergebnisse der Workshops

Im Folgenden werden die Ergebnisse der drei Workshops zu den Themenfeldern wiedergegeben. Die Darstellung orientiert sich dabei an dem Vorgehen in den Workshops. Zuerst werden die Datenbasen der Gutachten beschrieben sowie – falls geschehen – in der Diskussion neu hinzugezogene Studien aufgeführt. Danach wird dargelegt, zu welchen Bewertungen die Gutachter in ihren Gutachten gekommen sind. Im Anschluss wird der Verlauf der Diskussion geschildert. Dabei werden auch die für die Diskussion wesentlichen Studien noch einmal kurz präsentiert. Schließlich werden die Pro- und Kontra-Argumente, die in den Diskussionen und den Gutachten vorgebracht wurden, zusammengefasst und systematisiert. Am Ende jedes Kapitels steht dann eine Einschätzung der Pro- und Kontra-Argumente durch die vier Gutachter. Für diese Einschätzung können die Gutachter auch neuere Forschungsergebnisse heranziehen, die bei der Abfassung der Gutachten bzw. den Workshop-Diskussionen noch nicht verfügbar waren. Allerdings ist an dieser Stelle dann keine weitergehende Diskussion solcher Forschungsergebnisse mehr möglich.

6.1 Kognitive Funktionen

Für die Beurteilung des Einflusses hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf kognitive Funktionen kann auf zwei unterschiedliche Typen von Untersuchungen zurückgegriffen werden. Zum einen auf Untersuchungen am Menschen, in denen es vor allem um Einflüsse auf Gedächtnis und Aufmerksamkeit geht, zum anderen auf Experimente mit Tieren, vor allem Ratten und zum Teil auch Affen, in denen der Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Lernleistung und Orientierungsverhalten untersucht wird.

Wegen ihrer unterschiedlichen Methodik wurden im Workshop (wie auch in einigen der Gutachten) Untersuchungen am Menschen zunächst getrennt von Experimenten mit Tieren behandelt.

Untersuchungen kognitiver Effekte am Menschen

Auswahl der Untersuchungen

In den vier Gutachten wurden hierzu insgesamt sechs Arbeiten berücksichtigt (siehe Anhang B, Tabelle B1), wobei nur eine Studie (Preece et al. 1999) in allen Gutachten angeführt wird; die Arbeit von Koivisto et al. (2000a)¹¹ wird in drei Gutachten behandelt. Die anderen genannten Untersuchungen werden jeweils nur in einem der Gutachten angeführt; diese Studien haben entweder keinen Effekt gefunden (Gehlen 1996) oder beziehen sich auf niederfrequente Felder und sind damit für die Beurteilung der Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder nicht aussagekräftig (Crasson et al. 1998; Preece et al. 1998).

Einschätzung der Befundlage in den Gutachten

Die vier Gutachten stimmen darin überein, dass es Hinweise auf Wirkungen von elektromagnetischen Feldern auf kognitive Parameter gibt, wenn auch in unterschiedlicher Stärke. Unterschiedliche Bewertungen ergeben sich in bezug auf die Belastbarkeit dieser Ergebnisse und deren gesundheitlicher Relevanz: Während drei Gutachter (Glaser, Küppers, Silny) die Ergebnisse als wenig belastbar einschätzen, da sie bislang noch nicht in anderen unabhängigen Untersuchungen bestätigt wurden, sieht Neitzke unter dem Aspekt der Vorsorge in der fehlenden Bestätigung keinen bewertungsrelevanten Mangel. Im Gutachten von Ecolog heißt es dazu: "Beim Menschen gibt es Hinweise darauf, dass Gehirnfunktionen durch Felder, wie sie beim Telefonieren mit Mobiltelefonen auftreten, beeinflusst werden." (Ecolog, S. 37).

¹¹ Hinweis: Ecolog konnte aufgrund des früheren Fertigstellungstermins diese Arbeit nicht aufnehmen.

Diskussion

Als beratender Experte nahm Prof. Dr. Birbaumer vom Institut für Medizinische Psychologie der Universität Tübingen teil.

Einen Schwerpunkt der Diskussion bildeten die Arbeiten von Preece et al. (1999) sowie Koivisto (2000a und 2000b). Diese Arbeiten untersuchen in Experimenten den Einfluss elektromagnetischer Felder auf Gedächtnis, Aufmerksamkeit, Reaktionsgeschwindigkeit und andere psychologisch interessante Parameter bei Frequenzen und Feldstärken, wie sie für GSM Handys typisch sind.

Kasten 1: Diskutierte Schlüsselarbeiten kognitive Funktionen Mensch

Preece et al. (1999) finden einen statistisch signifikanten Effekt für die Expositionsbedingungen Scheinexposition, analoges Signal (915 MHz kontinuierlichem) und digitales Signal (entspricht GSM Handy, d.h. 915 MHz mit 217 Hz gepulst) bei einem der 20 von ihnen durchgeführten Einzeltests: Es ergab sich eine Verkürzung der Reaktionszeit bei einem Auswahltest, wobei sich der größte Effekt für das analoge Signal zeigte, während sich die Reaktionszeiten für das digitale Signal und die Scheinexposition kaum unterschieden. Aufgrund der in Preece et al. angegebenen Daten lässt sich nicht entscheiden, welche der Versuchsbedingungen für die statistische Signifikanz entscheidend ist: der Unterschied zwischen analogem Signal und Scheinexposition oder der Unterschied zwischen digitalem Signal und Scheinexposition (oder gar der zwischen analogem und digitalem Signal).

Koivisto et al. (2000a) verwenden zwölf Tests zur reaktionszeitbezogenen Messung kognitiver Leistungen, darunter verschiedene Aufgaben zu Auswahlentscheidungen, Subtraktionsleistung und Aufmerksamkeit. Wie schon in dem Experiment von Preece et al. führt auch hier die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern zu statistisch signifikant verkürzter (einfacher) Reaktionszeit, erhöhter Aufmerksamkeit und schnellerer Lösung der Subtraktionsaufgabe im Vergleich zur nicht exponierten Kontrollgruppe. Die Autoren kommen zu der Einschätzung, dass elektromagnetische Felder des Mobilfunks die kognitive Verarbeitung fördern können, vor allem bei Aufgaben, die Aufmerksamkeit verlangen oder das Arbeitsgedächtnis beanspruchen. Eine weitere, später publizierte Arbeit von Koivisto et al. (2000b), in der ebenfalls Reaktionszeiten unter Expositions- vs. Nicht-Expositionsbedingungen verglichen wurden, findet keinen direkten Effekt der Expositionsbedingung auf die Reaktionszeit, sondern nur einen komplexen Interaktionseffekt, der darauf hindeutet, dass sich eine Verkürzung der Reaktionszeit unter dem Einfluss von elektromagnetischen Feldern bei Aufgaben findet, die das Arbeitsgedächtnis stärker beanspruchen.¹²

In allen drei Untersuchungen betonen die Autoren, dass ihre Ergebnisse keine Schlussfolgerungen bezüglich möglicher Gesundheitsschäden durch die untersuchten hochfrequenten elektromagnetischen Felder zulassen.

In bezug auf die Einschätzung der gesundheitlichen Relevanz der Untersuchungsergebnisse der genannten Studien kam Silny zu der Einschätzung, dass, wenn sich diese Effekte bestätigen sollten, sie in ihrer gesundheitlichen Relevanz als eher schwach einzustufen seien. Küppers vom Öko-Institut verwies darauf, dass speziell für vulnerable bzw. sensitive Gruppen (z. B. Kranke, alte Menschen, Kinder, Elektrosensible) keine wissenschaftlichen Unter-

¹² Diese Arbeit konnte wegen des späteren Beauftragungstermins nur von Glaser in seinem Gutachten berücksichtigt werden

suchungen vorliegen. Insgesamt konnten aber nach seiner Einschätzung noch keine schädlichen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit nachgewiesen werden. Glaser sieht ebenfalls im Bereich "Kognitive Funktionen beim Menschen" keine gesundheitsrelevanten Auswirkungen. Er verwies jedoch auf weiteren Untersuchungsbedarf hinsichtlich möglicher Langzeitwirkungen durch unterschwellig wahrgenommene EMF Stimulation. Für Neitzke (Ecolog-Institut) zeigen diese Untersuchungen konsistente Hinweise für Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf kognitive Funktionen. Im Gegensatz zu Silny sah er in den fehlenden Replikationen der genannten Untersuchungen keinen bewertungsrelevanten Mangel.

Darüber hinaus kommt – nach einhelliger Einschätzung der Diskussionsteilnehmer – Untersuchungen am Menschen eine größere Aussagekraft für die Einschätzung von Gesundheitsrisiken zu als Untersuchungen mit Tieren.

Bei seiner Beurteilung des Forschungsstandes zum Einfluss elektromagnetischer Felder auf kognitive Funktionen des Menschen sah Birbaumer bei den bislang zu diesem Thema verfügbaren wissenschaftlichen Untersuchungen eine Reihe von Defiziten, die deren Nutzbarkeit für eine Einschätzung möglicher Gesundheitsgefahren stark einschränkt.¹³

- (a) Es fehlen unabhängige Replikationen der Forschungsergebnisse, die ihre Belastbarkeit sicherstellen.
- (b) Die untersuchten Parameter (Aufmerksamkeit, Reaktionszeit, Gedächtnis) sind für eine Abschätzung gesundheitsrelevanter Effekte wenig aussagekräftig. Wichtiger wären Studien zu Langzeitwirkungen auf subkortikale Systeme; zu untersuchen wären hier emotionale oder immunologische Parameter.
- (c) Die Forschungsdesigns der Untersuchungen sind nicht geeignet, mögliche Placebo- und Erwartungseffekte auszuschließen, die sich durch die Teilnahme an den Untersuchungen bei den Versuchspersonen ergeben können. Selbst Doppelt-Blind Untersuchungen reichen hier nach Einschätzung Birbaumers nicht aus, um solche Placebo- und Erwartungseffekte zu vermeiden. Erforderlich wäre hier die Kontrolle dieser Effekte durch Placebo-Fragebögen bzw. andere psychologische Messmethoden.

Zu dem letzten Punkt verwies Glaser auf die Möglichkeit, dass über Thermozeptoren der Proband bewusst oder unbewusst über die Funktion des Senders informiert werden könnte.

Trotz der genannten Mängel vermutete Birbaumer - er betonte hier seine fachliche Erfahrung -, dass es einen Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf kognitive Funktionen des Menschen gibt. Allerdings schränkte er diesen möglichen Einfluss explizit auf Feldstärken ein, wie sie bei der Handynutzung direkt am Kopf auftreten. Die Felder von Basisstationen, denen Menschen bei der Einhaltung des vorgeschriebenen Sicherheits-

¹³ Siehe dazu auch die schriftliche Stellungnahme von Prof. Birbaumer, die in Anhang A angefügt ist.

abstandes ausgesetzt sind, hielt Birbaumer dagegen für zu schwach, um irgendeine biologische Wirkung zu haben. Hier zeigte sich in der Diskussion ein deutlicher Dissens zu Neitzke vom Ecolog-Institut, der Effekte auch bei Feldstärken, wie sie von Basisstationen emittiert werden, für möglich hält. Neitzke erläuterte hierzu, dass zwar die überwiegende Mehrzahl der Anwohner von Mobilfunkanlagen deutlich niedrigeren Feldstärken als in den Experimenten, in denen sich biologische Wirkungen gezeigt hatten, ausgesetzt sind, Expositionen in der Höhe der Experimentalwerte aber in seltenen Fällen durchaus auftreten können. Als Beispiel nannte er eine Mobilfunksendeanlage in Hannover-Döhren, wo sich die Anlage auf der gleichen Höhe wie eine Wohnung befindet. Aufgrund der geringen Entfernung zwischen Wohnung und Anlage von weniger als 20 m und einer großen Fensterfront ist dort die Felddämpfung gering und es werden entsprechende Werte erreicht.

Die von Birbaumer angeführten methodischen Mängel der Studien zur Wirkung von EMF auf kognitiven Funktionen blieben unwidersprochen. Allein in der Frage der Notwendigkeit von Replikationen wissenschaftlicher Untersuchungen – die auch in Diskussionen zu anderen Themenfeldern immer wieder aufkam – zeigte sich ein Dissens: Glaser, Küppers (Öko-Institut), Silny sowie Birbaumer betonten die Notwendigkeit der Replikationen von Untersuchungen, um für die Risikobewertung eine belastbare Basis zu haben. Zwar hält auch Neitzke die Replikation von Untersuchungsergebnissen für einen erforderlichen Standard, um zu einem wissenschaftlichen Beweis zu gelangen. Seines Erachtens ist jedoch die Bereitschaft, Replikations-Experimente durchzuführen, aus wissenschafts-immanenten Gründen gering. Als Beispiel nannte er hier das Experiment von Repacholi et al. (1997), das sowohl in der Wissenschaft wie in der Öffentlich große Resonanz fand (siehe Kapitel 6.4). Dessen Ergebnisse lagen bereits 1995/1996 vor, wurden aber wegen Verzögerungen erst 1997 veröffentlicht. Und eine Replikation wird erst jetzt (im Jahr 2002) im Rahmen der PERFORM-A Projekts durchgeführt. Neitzke wies darauf hin, dass es nicht um die Frage geht, ob man aus wissenschaftstheoretischen Gründen eine Replikation für notwendig hält, sondern darum, ob man im Rahmen einer Risikoabschätzung für eine flächendeckende Technologie alle anderen Hinweise ignorieren darf. In dieser Frage konnte in der Diskussion keine Einigung erzielt werden.

Analyse der Argumente und Bewertungslogiken

Im weiteren werden die Pro- und Kontra-Argumente, die in der Diskussion und in den Gutachten zu finden waren, von uns zusammengefasst und systematisiert. Als Pro-Argument fassen wir alle Argumente auf, die genutzt werden, um auf ein gesundheitliches Risiko beim Menschen hinzuweisen. Als Kontra-Argument betrachten wir alle Argumente, die gegen einen solchen Verdacht sprechen. Diese Zusammenfassung der Argumente wurde mit den Gutachtern im Abschlussworkshop abgestimmt. Abschließend geben die vier Gutachter dann ihre Einschätzung der Pro- und Kontra-Argumente.

Pro-Argument	Kontra-Argument
Effekte in einzelnen Tests zeigen, dass EMF des Mobilfunks Wirkungen haben – Einfluss auf Reaktionszeiten und Kurzzeitgedächtnis.	Studien sind nicht reproduziert. Effekte können durch Placebo- und Erwartungseffekte bedingt sein - keine Kontrolle dieser Effekte.
Ein Einfluss auf das ZNS ist eine plausible Hypothese.	Mangelnde Eignung der Parameter der Untersuchungen für eine Risikobewertung. Effekte sind (marginale) Verbesserungen der Reaktionszeit und des Kurzzeitgedächtnis und damit nicht risikorelevant.

Kernpunkt des Pro-Arguments, das von Neitzke vertreten wird, ("Ich sehe Hinweise") sind die statistisch signifikanten Befunde in den Studien von Preece und Koivisto. Die Frage der gesundheitlichen Relevanz wird von ihm jedoch nicht gestellt. Unserer Auffassung nach muss diese Frage aber beantwortet werden. Hier ließe sich bestenfalls eine Analogie vorbringen; etwa: 'Wenn es Verbesserungen gibt, dann ist nicht auszuschließen, dass es auch Verschlechterungen geben kann.' Allerdings ist dies (a) spekulativ und (b) muss dann beachtet werden, ob die Effekte überhaupt auf die Befeldung zurückgeführt werden können und nicht durch andere Ursachen bedingt sind (siehe das Kontra-Argument von Birbaumer weiter unten). Das zweite Pro-Argument findet sich bei Birbaumer: Er argumentiert mit seiner wissenschaftlichen Erfahrung und hält eine Beeinflussung des ZNS durch EMF für wahrscheinlich, allerdings nur, wenn die Emissionsquelle hinreichend nahe ist (das heißt bei Handys, aber nicht bei Basisstationen). Das heißt, Birbaumer argumentiert auf der Basis seiner Experteneinschätzung als Neuropsychologe, ohne diese im einzelnen durch biophysikalische oder empirische Belege zu begründen.

In der Auseinandersetzung sind vier Kontra-Argumente zu erkennen. Das erste Argument wird am deutlichsten von Silny vertreten. Er bezweifelt die Existenz der Effekte auf kognitive Leistungen und hält diese – falls sie reproduziert werden können – auch nicht für gesundheitlich relevant. Dabei ist daran zu erinnern, dass in allen drei Untersuchungen zu kognitiven Effekten Verbesserungen gefunden wurden.

Das zweite Argument folgt der Kritik von Birbaumer an der Methodik der Studien. Es stellt sich - noch viel schärfer als bei Silny - die Frage, ob aus den Untersuchungen überhaupt Schlussfolgerungen zum Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf kognitive Funktionen gezogen werden können. Denn der Mangel an einer hinreichenden Kontrolle von Placebo- bzw. Erwartungseffekten lässt offen, wie die Effekte zustande gekommen sind. Die EMF-Befeldung ist nur eine von mehreren möglichen Ursachen. Die Ergebnisse der Studien können auch allein durch Erwartungseffekte erklärt wer-

den.¹⁴ Auch die von Glaser geäußerte Möglichkeit einer bewussten oder unbewussten Thermorezeption könnte hier als alternative Erklärung eine Rolle spielen.

Diese methodischen Probleme bei der Bestimmung der Ursache-Wirkungsbeziehung lassen die Nutzung der Befunde für eine Risikobewertung fraglich erscheinen. Die mangelnde Eignung der Studien für eine Risikobewertung wird noch deutlicher, wenn man ein weiteres Argument von Birbaumer hinzu zieht. Er stellt in Frage, ob die untersuchten psychologischen Parameter (Aufmerksamkeit, Reaktionszeit etc.) überhaupt etwas über mögliche Gesundheitsrisiken aussagen können. Damit wird die Eignung für eine Risikobewertung bestritten, zumindest aber stark eingeschränkt. Das vierte Kontra-Argument betrifft die Art der Befunde: In den Experimenten wurden Verbesserungen der kognitiven Leistungen unter EMF-Befeldung gefunden.

Gewichtungen der Pro- und Kontra-Argumente durch die Gutacher

- Glaser: Es überwiegen eindeutig die Kontra-Argumente, denn selbst wenn sich die Effekte einzelner Tests reproduzieren ließen, sind sie doch offenbar durch geringfügige Erwärmung bedingt und liegen im Toleranzbereich normaler Schwankungen neuronaler Reaktionen ohne gesundheitliche Relevanz.
- Küppers: Insgesamt haben die Kontra-Argumente ein Gewicht. Obwohl es durchaus möglich erscheint, dass Auswirkungen auf bestimmte kognitive Fähigkeiten beim Menschen eintreten, sind deren gesundheitliche Auswirkungen bislang offen. Auch eher als positiv zu bewertende Effekte sind möglich.
- Neitzke: Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen sind als deutliche Hinweise auf eine Beeinflussung kognitiver Funktionen beim Menschen zu werten. Offenbar reichen hierfür schon Intensitäten aus, die deutlich unterhalb der Schwelle für thermische Effekte liegen. Die gesundheitlichen Auswirkungen sind wegen fehlender Untersuchungen derzeit noch nicht zu beurteilen. Es wäre insbesondere der Frage nachzuge-

¹⁴ Birbaumer schreibt hierzu in seiner schriftlichen Stellungnahme: „Das Wissen um eine mögliche Exposition an Strahlen oder andere technologische Bedingungen reicht aus, um erhebliche physiologische und psychologische Effekte auch über einen längeren Zeitraum zu erzielen. [...] Auch bei Doppelblind-Experimenten sind Placebo-Effekte meist nicht auszuschließen, sondern können bestenfalls kontrolliert werden: Wenn eine bestimmte Umwelttoxine, Radiofrequenz oder ein Pharmakon das Verhalten oder Zentralnervensystem beeinflusst, so kann die Wahrnehmung dieser Beeinflussung und die Tatsache, dass man erkennt, dass man in der Experimentalgruppe ist, zu den erwarteten Änderungen führen. Untersuchungen an Psychopharmaka zeigen, dass bei den meisten Doppelblindstudien sowohl Arzt wie auch Patienten sehr schnell die Gruppenzugehörigkeit herausgefunden haben und damit alle Ergebnisse durch Erwartungs- und Versuchsleitereffekte erklärt werden können. In keiner Untersuchung wurden Placebo- und Erwartungseffekte durch den Einsatz sogenannter Placebo-Fragebögen und anderer psychologischer Messmethoden zur Kontrolle von Erwartungseffekten eingesetzt. Dies muss allerdings in Zukunft für alle derartigen Untersuchungen gefordert werden.“ (siehe Anhang A, S. 5f.).

hen, ob es einen Zusammenhang zwischen den beobachteten Effekten und den Berichten über das Auftreten verschiedener Symptome, u. a. von Beeinträchtigungen der Leistungsfähigkeit, bei Nutzern von Handys und Anwohnern von Mobilfunkanlagen gibt.

- Silny: Ich favorisiere die Kontra-Argumente, da sie den tatsächlichen Wissensstand der bisherigen Literatur richtig bewerten. Es liegen zwar vereinzelte Berichte über Einflüsse relativ starker Mobilfunkfelder auf die Reaktionszeiten und das Kurzzeitgedächtnis vor, ihre Aussage ist aber im Zusammenhang mit der gestellten Frage nach der gesundheitlichen Relevanz der im Alltag vorkommenden Mobilfunkfelder unerheblich. Die Existenz der beobachteten schwachen Effekte ist bisher in einer überzeugenden Wiederholung von anderen Forschungsgruppen nicht bestätigt, die Resultate könnten auch auf einer Reihe zufälliger und systematischer Fehler sowie auf falschen Annahmen beruhen. Darüber hinaus erlauben die wenigen Beobachtungen von minimalen und gleichzeitig harmlosen Effekten nicht, ein Gefährdungspotential der Mobilfunkfelder des Alltags abzuleiten, was die Pro-Argumente jedoch im Prinzip suggerieren.

Untersuchungen kognitiver Effekte am Tier

Auswahl der Untersuchungen

Zu diesem Thema wurden in den Gutachten insgesamt siebzehn Arbeiten aufgeführt, von denen allerdings nur eine Arbeit (Lai et al. 1994) in allen vier Gutachten berücksichtigt wurde (siehe Anhang B, Tabelle B2). In diesen Untersuchungen wurde vor allem an Ratten und zum Teil auch an Affen geprüft, ob hochfrequente elektromagnetische Felder Verhaltensweisen von Tieren, die kognitive Leistungen (z. B. Lernen oder Orientierungsverhalten) erfordern, beeinträchtigen.

Einschätzung der Befundlage in den Gutachten

Nach Silny weisen Tierversuche übereinstimmend auf Effekte von EMF hin. Zu einem ähnlichen Schluss kommt das Öko-Institut, dass die Resultate der Versuche als wissenschaftlich belastbar einstuft. Auch Glaser sieht Verhaltensänderungen bei den Versuchstieren, die aber in der Mehrzahl durch hohe Feldintensitäten bedingt sind. Neitzke sieht Beeinträchtigungen kognitiver Funktionen im Tierversuch als festgestellt an. Daraus leitet Ecolog Hinweise auf eine gesundheitsschädigende Wirkung für den Menschen ab. Diese Ansicht wird in den anderen Gutachten nicht geteilt.

Glaser und Silny gehen davon aus, dass aufgrund der Unterschiede zwischen Ratte und Mensch (Körpergröße in Relation zur Eindringtiefe der HF-Felder)¹⁵ die Übertragung der Befunde auf den Menschen nicht ohne weiteres vorge-

¹⁵ Siehe hierzu auch Fußnote 30, S. 59.

nommen werden kann. Das Öko-Institut schlussfolgert:¹⁶ „Insgesamt konnten für die menschliche Gesundheit noch keine schädlichen Auswirkungen festgestellt werden. Es liegen jedoch eine Anzahl von Ergebnissen u.a. aus Tierversuchen vor, deren mögliche Auswirkungen auf den Menschen noch genauer zu untersuchen sind.“ (Öko-Institut, S. 52).

Diskussion

Beratender Experte für dieses Thema war ebenfalls Prof. Dr. Birbaumer vom Institut für Medizinische Psychologie der Universität Tübingen.

Ein wesentliches Thema in der Diskussion war die Frage, inwieweit gefundene Effekte auf die kognitive Leistungsfähigkeit bei Tieren durch thermische Wirkungen erklärt werden können. Glaser und Silny wiesen darauf hin, dass die meisten Studien mit hohen Feldstärken durchgeführt wurden, bei denen thermische Wirkungen auftreten. Allerdings merkten sie an, dass es Untersuchungen gibt (z. B. Lai et al. 1994), bei denen sich Effekte bei niedrigen Feldstärken zeigen. Diese Arbeiten (die im folgenden erläutert werden) rückte auch Neitzke in den Mittelpunkt seiner Argumentation. Er sieht hier Effekte, die er als gesundheitlich relevante Beeinträchtigungen des Tieres wertet.

Kasten 2: Diskutierte Schlüsselarbeiten kognitive Funktionen Tier

Lai et al. (1994) untersuchen den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder (2.45 GHz; mittlere SAR: 0.6 W/kg) auf das räumliche Gedächtnis von Ratten. Speziell wurde untersucht, ob das cholinergische System und endogene Opioide bei dem Auftreten von Mikrowellen-induzierten Defiziten des räumlichen Gedächtnisses eine Rolle spielen. Tiere, denen vorher eine Kochsalzlösung injiziert worden war, zeigten eine statistisch signifikant schlechtere Gedächtnisleistung unter Befeldung im Vergleich zu Tieren der schein-exponierten Kontrollgruppe. Für Tiere, die mit Physostigmin bzw. Nalaxon vorbehandelt worden waren¹⁷, zeigten sich dagegen keine Unterschiede in den Gedächtnisleistungen beim Vergleich der exponierten Gruppe und der schein-exponierten Kontrollgruppe. Die Autoren schließen aus diesen Ergebnissen, dass die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern über einen komplexen Reaktionsmechanismus, der sowohl das cholinergische System wie endogene Opioide einschließt, zu einer Beeinträchtigung des räumlichen Gedächtnisses führt. Die Ergebnisse werden durch die Studie von Wang und Lai (2000), die allerdings einen etwas anderen Versuchsaufbau hat, gestützt.

Mickley et al. (1994) finden ebenfalls, dass Ratten bei Expositionen im SAR Bereich 1 W/kg bis 10 W/kg im Vergleich zu schwach exponierten (SAR = 0.1 W/kg) bzw. nicht exponierten oder schein-exponierten Tieren Verhaltensänderungen zeigen, die als verminderte Gedächtnisleistung interpretiert werden können.

Birbaumer machte deutlich, dass er die in den Tierexperimenten gefundenen Verminderungen von Gedächtnis- und Orientierungsleistungen als Schädli-

¹⁶ Das Öko-Institut bezieht sich hier auf tierexperimentelle sowie auf Untersuchungen am Menschen zu kognitiven Funktionen.

¹⁷ Physostigmin hemmt das cholinergische System, das eine wichtige Rolle für Gedächtnisfunktionen spielt. Nalaxon ist ein endogenes Opioid. Opioide können ebenfalls die Aktivität des cholinergischen Systems beeinflussen.

gungen für das Tier wertet, da solche Leistungen von elementarer Bedeutung für das Überleben von Tieren sind. Er führte dazu aus, dass aus anatomischen Gründen bei der Ratte der Hippocampus, der für die räumliche Orientierung bedeutsam ist (räumliches Gedächtnis), bei einer (hinreichend starken) Befeldung als erstes gestört wird und dies dann zu Gedächtnis- und Orientierungsstörungen führen kann. Birbaumer kritisierte allerdings, dass über die Reversibilität der Effekte keine Angaben vorliegen und dass Langzeiteffekte nicht überprüft wurden.

Eine Übertragung dieser Befunde an Ratten auf den Menschen ist nach Einschätzung von Birbaumer auf die Expositionssituation beim Handy möglich, weil dieses beim Telefonieren typischerweise in der Nähe des Temporallappens positioniert wird, unter dem der Hippocampus liegt. Birbaumer führt aus, dass der Hippocampus eine wichtige subkortikale Struktur für Gedächtnisfunktionen darstellt. Nach Birbaumer lassen die Ergebnisse der Tierexperimente deshalb einen Einfluss auf das Gedächtnis beim Menschen plausibel erscheinen. In ihrer Größe sind solche Effekte nach Einschätzung von Birbaumer mit pharmakologischen Effekten vergleichbar.

Analyse der Argumente und Bewertungslogiken

Im weiteren werden die Pro- und Kontra-Argumente, die in der Diskussion und in den Gutachten zu finden waren, von uns zusammengefasst und systematisiert. Als Pro-Argument fassen wir alle Argumente auf, die genutzt werden, um auf ein gesundheitliches Risiko beim Menschen hinzuweisen. Als Kontra-Argument betrachten wir alle Argumente, die gegen einen solchen Verdacht sprechen. Diese Zusammenfassung der Argumente wurde mit den Gutachtern im Abschlussworkshop abgestimmt. Abschließend geben die vier Gutachter dann ihre Einschätzung der Pro- und Kontra-Argumente.

In bezug auf die Resultate der tierexperimentellen Studien besteht weitgehender Konsens. Die beobachteten Effekte werden als etabliert angesehen und als Folge der EMF-Befeldung betrachtet. Unterschiedliche Ansichten bestehen aber hinsichtlich der Schlussfolgerungen der durchgeführten Untersuchungen: Was kann daraus für die menschliche Gesundheit abgeleitet werden?

Zwei Argumentationen werden genutzt, um einen Übertrag der tierexperimentellen Befunde auf den Menschen plausibel zu machen: Das erste Argument ist eine anatomische Hypothese. Handys werden beim Telefonieren an die Kopfseite, in unmittelbarer Nähe des Temporallappens gehalten. Damit könnte auch der Hippocampus beeinflusst werden, der Gedächtnisleistungen beeinflusst. Die andere Argumentation verweist darauf, dass beim Tier Gedächtnisleistungen beeinträchtigt werden. Allein diese Tatsache – so die implizite Schlussfolgerung – ist schon Grund für Vorsicht. Die Übertragbarkeit wird hierbei also als gegeben unterstellt.

Zwei Argumente werden aufgeführt, die gegen eine Interpretation der Befunde als Hinweise auf Risiken für die menschliche Gesundheit sprechen.

Zum einen wird auf die Differenzen zwischen Tiermodell und Menschen hingewiesen. Gleiche Befeldungen führen hier zu ganz unterschiedlichen SAR Werten. Damit wird nahegelegt, dass beim Tier Wärmestress bereits bei Leistungsdichten ausgelöst wird, die beim Menschen zu keiner Reaktion führen. Zum anderen wird darauf verwiesen, dass die Untersuchungen keine Aussagen darüber zulassen, ob die kognitiven Einbußen beim Tier irreversibel sind oder ob sie kompensiert werden können.

Pro	Kontra
<p>Tierexperimentelle Befunde zeigen Verhaltensänderungen, die auf Gedächtnis- und Orientierungsstörungen hinweisen.</p> <p>Nähe des Handys beim Telefonieren zum Temporallappen lässt die Übertragbarkeit der tierexperimentellen Befunde auf Menschen annehmen.</p>	<p>Keine Aussagen darüber, ob die Effekte reversibel sind und ob sie kompensiert werden.</p> <p>Makrothermische Effekte als Erklärung für Befunde sind nicht ausgeschlossen.</p> <p>Übertragung der tierexperimentellen Befunde auf den Menschen nicht möglich, aufgrund unterschiedlicher Größe und Anatomie von Tier (Ratte) und Mensch.</p>

Gewichtungen der Pro- und Kontra-Argumente durch die Gutacher

- Glaser: Die Kontra-Argumente sind überzeugender, insbesondere die anzunehmenden thermischen Effekte, die sich, wie das zweite Argument besagt, beim Tier stärker ausprägen müssten als beim Menschen.
- Küppers: In der Gesamtschau überwiegen die Kontra-Argumente im Hinblick auf Schlussfolgerungen auf den Menschen. Die Unterschiede in den Auswirkungen zwischen Untersuchungen am Menschen und am Tier, wo sich insbesondere Defizite im räumlichen Lernverhalten ergaben, könnten durch Unterschiede in Größe und Anatomie zustande kommen.
- Neitzke: Die Ergebnisse der Tierexperimente deuten auf Effekte auch unterhalb der Schwellen für makrothermische Wirkungen. Wenn bei Tieren unter Berücksichtigung ihrer Größe und Anatomie bestimmte Feldstärken nicht-thermische Wirkungen auslösen, ist davon auszugehen, dass entsprechende nicht-thermische Wirkungen auch beim Menschen auftreten können.
- Silny: Ich befürworte die Kontra-Argumente. Die Pro-Argumente vermitteln den Eindruck, dass die in Humanstudien gefundene Effekte auch in Tierexperimenten existieren. Dabei stehen hier die Verhaltensänderungen und Orientierungsstörungen im Vordergrund. Eine Störung dieser Funktionen, die höchst wahrscheinlich von anderen Hirnarealen bearbeitet werden als die Reaktion oder das Kurzzeitgedächtnis, wurde bisher bei

Probanden nicht beobachtet. Hier werden Äpfel und Birnen durcheinander gebracht.

6.2 Schlaf / EEG

Im Workshop wurde unterschieden zwischen Untersuchungen zum Schlafverhalten, die meist mit Hilfe von EEG-Messungen durchgeführt wurden, und Untersuchungen, in denen EEG-Messungen an wachen Personen vorgenommen wurden.

Schlafverhalten / Schlaf-EEG

Die experimentellen Untersuchungen zu einem möglichen Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf den menschlichen Schlaf werden vor allem mit Hilfe der Elektroenzephalographie (EEG) untersucht, zum Teil wird zusätzlich auch mit Hilfe von Fragebogen o.ä. die subjektive Einschätzung der Schlafqualität erhoben.

Auswahl der Untersuchungen

In den vier Gutachten werden zu diesem Thema insgesamt sieben Arbeiten berücksichtigt (siehe Anhang B, Tabelle B3). Das Ecolog-Gutachten verweist darüber hinaus noch auf verschiedene Untersuchungen an Tieren, von denen allerdings nur in der Studie von Vorobyov et al. (1997) Expositionsbedingungen realisiert wurden, die denen des Mobilfunks entsprechen.

Einschätzung der Befundlage in den Gutachten

Alle Gutachten kommen zu einer vergleichbaren Einschätzung: Sie stellen fest, dass es Hinweise auf einen Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Schlaf-EEG gibt, insbesondere auf die Dauer und Intensität des REM-Schlafes. Während das Ecolog-Gutachten die EEG Effekte als patho-physiologische Wirkungen einordnet (d.h. physiologische Wirkungen mit möglichen, aber nicht notwendigerweise eintretenden negativen gesundheitlichen Auswirkungen; s. Ecolog-Gutachten S. 8), wird in keinem der anderen Gutachten aus diesen Befunden abgeleitet, dass damit Indizien für gesundheitliche Beeinträchtigungen gegeben sind.

Diskussion

Als beratender Experte nahm Dr. Lüdemann von der Klinik und Poliklinik für Neurologie der Universitätsklinik Münster teil.

Die Diskussionen bezogen sich vor allem auf die Arbeiten der Arbeitsgruppe an der Universität Mainz (Mann & Röschke 1996; Wagner et al. 1998) und der Arbeitsgruppe an der Universität Zürich (Borbély et al. 1999).

Kasten 3: Diskutierte Schlüsselarbeiten Schlafverhalten

Mann & Röschke (1996) untersuchten den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf den Schlaf. Die Experimentalgruppe wurde während der achtstündigen Schlafzeit einem 900 MHz Feld (gepulst mit 217 Hz) mit einer mittleren Feldstärke von 0.5 W/m^2 ausgesetzt. Die Kontrollgruppe wurde nicht exponiert. Es zeigte sich eine statistisch signifikante Verkürzung der Einschlafzeit sowie eine statistisch signifikante Reduktion des prozentualen Anteils der REM-Phasen am Schlaf. Außerdem wurde unter der Expositionsbedingung eine statistisch signifikante Erhöhung der spektralen Leistungsdichte des EEG-Signals festgestellt. Nach Ansicht der Autoren kann über die Gesundheitsrelevanz ihrer Befunde noch nichts ausgesagt werden. In einer späteren Studie der gleichen Forschungsgruppe konnten diese Effekte nicht bestätigt werden (Wagner et al. 1998). Allerdings wurde diese Studie mit einem veränderten Design durchgeführt, und zumindest für die Verkürzung der REM-Schlafphase wurde ein ähnlicher Trend gefunden, wenngleich dieser statistisch nicht signifikant (auf dem 5% Niveau) wurde. Die Autoren selbst sehen deshalb in ihren späteren Ergebnissen keinen Widerspruch zu den ersten Befunden. In einer weiteren Studie, die wiederum mit einem sehr ähnlichen Design, diesmal allerdings mit einer deutlich stärkeren Exposition (Leistungsflussdichte 50 W/m^2 statt 0.5 W/m^2 bei Mann & Röschke (1996) bzw. 0.2 W/m^2 bei Wagner et al. (1998)), zeigte sich weder ein statistisch signifikanter Effekt für die Schlafparameter noch für die spektrale Leistungsdichte des EEG-Signals (Wagner et al. 2000).¹⁸

Borbély et al. (1999) exponierten ihre Experimentalgruppe während einer achtstündigen Schlafzeit mit einem 900 MHz Feld (mit der für Mobilfunktelefone typischen Pulsung) jeweils in 15 Minuten an-aus Intervallen. Die maximale spezifische Absorptionsrate lag unter 1 W/kg . Eine Kontrollgruppe war nicht exponiert. Für die EMF-Exposition ergab sich eine statistisch signifikante Verringerung von Schlafunterbrechungen nach dem Einschlafen. Außerdem fand sich eine statistisch signifikante Veränderung der Leistungsdichte in einigen Frequenzbändern in der ersten Non-REM-Periode¹⁹. Die Autoren sehen in diesen Effekten eine Verbesserung der Schlafqualität durch Mobilfunkfelder. Die Ergebnisse von Borbély et al. (1999) zur Veränderung der Leistungsdichte in der ersten Non-REM-Periode durch hochfrequente EMF sind inzwischen in einer weiteren Studie dieser Arbeitsgruppe, die allerdings einen anderen Aufbau hatte, z. T. bestätigt worden (Huber et al. 2000). Nicht bestätigt wurde dabei allerdings die Reduzierung von Schlafunterbrechungen nach dem Einschlafen durch EMF.²⁰ Aus Sicht der Züricher Forscher ist es derzeit noch zu früh, diese Ergebnisse im Hinblick auf ihre Gesundheitsrelevanz zu beurteilen, da die den gefundenen Effekte zugrunde liegenden Mechanismen noch nicht bekannt sind.

¹⁸ Diese neue Studie konnte in keinem der Gutachten berücksichtigt werden, wird aber in der schriftlichen Stellungnahme von Lüdemann behandelt und wurde auf dem Workshop angesprochen.

¹⁹ Dazu die Autoren: "Compared with a control night with sham exposure, the amount of waking after sleep onset was reduced from 18 to 12 min. Spectral power of the electroencephalogram in non-rapid eye movement sleep was increased. The maximum rise occurred in the 10-11 Hz and 13.5-14 Hz bands during the initial part of sleep and then subsided. The results demonstrate that pulsed high-frequency EMF in the range of radiotelephones may promote sleep and modify the sleep EEG". (Borbély et al. 1999, Abstract)

²⁰ Diese neue Studie konnte in keinem der Gutachten berücksichtigt werden, wird aber in der schriftlichen Stellungnahme von Lüdemann behandelt und wurde auf dem Workshop angesprochen.

Die vier Gutachter stimmten darin überein, dass die oben genannten Untersuchungen Hinweise auf biologische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder geben. Insbesondere die Übereinstimmung von (Teil-) Ergebnissen von Borbély et al. (1999) und Huber et al. (2000) wurde von allen Gutachtern als bedeutsamer Hinweis auf solche Wirkungen gewertet. Es wurde allerdings auch betont, dass hier eine unabhängige Replikation wünschenswert sei. In bezug auf die Ergebnisse von Mann & Röschke (1996) verwiesen Glaser, Silny und Küppers darauf, dass die Befunde in den späteren Arbeiten der Mainzer Forschungsgruppe nicht repliziert werden konnten. In diesem Punkt vertrat Neitzke eine andere Auffassung: Danach kann das Ergebnis von Wagner et al. (1998) durchaus als Bestätigung der Befunde von Mann & Röschke gewertet werden, denn es zeigte sich für die REM-Schlafphase nicht nur der gleiche Trend, sondern es wurde auch immerhin ein Signifikanzwert nahe dem üblichen Kriterium von 5%, nämlich 8.1%, erreicht.

Ungeachtet der unterschiedlichen Einschätzung der Ergebnisse der Studien aus der Mainzer Forschungsgruppe bestand auch Einigkeit bei den Gutachtern, dass die gefundenen Effekte keine direkten Hinweise auf Gesundheitsschäden durch hochfrequente elektromagnetische Felder geben, da über die gesundheitliche Bedeutung der gefundenen Effekte nichts bekannt ist.

Der beratende Experte Lüdemann kam in seiner Stellungnahme zu der Einschätzung, dass es Hinweise auf Schlafveränderungen bzw. Schlaf-EEG Beeinflussungen durch hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks gibt. Diese Hinweise müssen aber noch bestätigt werden. Vor allem die Ergebnisse der Züricher Gruppe, die auf eine Beeinflussung der ersten Tiefschlafphase durch die hochfrequenten elektromagnetischen Felder hinweisen, sind nach Einschätzung von Lüdemann für eine Abschätzung möglicher Gesundheitseffekte wesentlich. Deshalb ist nach Lüdemanns Einschätzung gerade zu diesem Aspekt eine weitere Überprüfung der bisherigen Forschungsergebnisse notwendig. Dem wurde nicht widersprochen.

Analyse der Argumente und Bewertungslogiken

Im weiteren werden die Pro- und Kontra-Argumente, die in der Diskussion und in den Gutachten zu finden waren, von uns zusammengefasst und systematisiert und bewertet. Als Pro-Argument fassen wir alle Argumente auf, die genutzt werden, um auf ein gesundheitliches Risiko beim Menschen hinzuweisen. Als Kontra-Argument, betrachten wir alle Argumente, die gegen einen solchen Verdacht sprechen. Diese Zusammenfassung der Argumente wurde mit den Gutachtern im Abschlussworkshop abgestimmt. Abschließend geben die vier Gutachter dann ihre Einschätzung der Pro- und Kontra-Argumente.

Pro	Kontra
Es gibt Untersuchungen, die Beeinflussungen des Schlafverhaltens beim Menschen zeigen.	Befundlage ist uneinheitlich. Wiederholungsexperimente bei höheren Feldstärken zeigen keine Effekte auf den Schlaf. Die gefundenen Effekte geben keinen direkten Hinweis auf Gesundheitsschäden

Da die gesundheitliche Bedeutung der gefundenen Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf den Schlaf nach Einschätzung aller Diskussionssteilnehmer nicht geklärt ist, beziehen sich die Pro- und Kontra-Argumente nur indirekt auf gesundheitliche Risiken. Nur wenn man diese Einflüsse im Sinne eines *worst-case* Szenarios als Indikatoren für Gesundheitsrisiken auffasst, lässt sich ein direktes Pro-Argument formulieren.

Es gibt zwei Kontra-Argumente, die gegen eine Bewertung der Befunde zum Schlafverhalten als Risiko für den Menschen angeführt werden: Das erste Kontra-Argument ist die uneinheitliche Befundlage. In den Untersuchungen der Züricher Gruppe zeigen sich gerade keine Veränderungen in der REM-Phase, sondern in den Nicht-REM-Phasen. Ohne die Gründe für die widersprüchlichen Befunde zu kennen, sind Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen nur mit großer Vorsicht möglich. Weiterhin findet sich bei einer deutlich stärkeren Exposition (Leistungsflussdichte 50 W/m² statt 0.5 W/m² bei Mann & Röschke von 1996 bzw. 0.2 W/m² bei Wagner et al. von 1998) weder ein statistisch signifikanter Effekt für die Schlafparameter noch für die spektrale Leistungsichte (Wagner et al. 2000). Zum anderen weisen die Studien der Züricher Gruppe um Borbély und Huber nicht auf Schlafstörungen hin. Die Autoren interpretieren sie vielmehr als eine Verbesserung des Schlafs.

Gewichtungen der Pro- und Kontra-Argumente durch die Gutacher

- Glaser: Beide Kontra-Argumente erscheinen stichhaltig und wiegen das Pro-Argument eindeutig auf.
- Küppers: Die Kontra-Argumente haben stärkeres Gewicht. Bislang ist die Befundlage sehr uneinheitlich, woraus sich aber ein weiterer Forschungsbedarf im Hinblick auf das Schlafverhalten ergibt.
- Neitzke: Die vorliegenden Untersuchungen zeigen in ihrer Mehrzahl deutliche Wirkungen auf das Schlaf-EEG, die auf Störungen der Schlafarchitektur hindeuten. Diesen Störungen kann zwar kein bestimmtes Krankheitsbild zugeordnet werden, gesundheitliche Beeinträchtigungen, die individuell unterschiedlich sein können, sind bei chronischen Expositionen jedoch nicht auszuschließen.
- Silny: Für mich sind nur die Kontra-Argumente akzeptabel. Die Pro-Argumentation zielt auf wenige Studien hin, die in Wiederholung z.T. von

der gleichen Gruppe nicht belegt werden konnten. Darüber hinaus sind die beobachteten Unterschiede verschiedener Schlafparameter, gemessen an der bereits unter physiologischen Gegebenheiten riesigen Schwankungsbreite, fast vernachlässigbar. Die berichteten Effekte erlauben auch keine Beurteilung der Veränderung der Schlafqualität. Auch hier könnte nur aus einer Verschlechterung ein Gefährdungspotential abgeleitet werden.

Wach-EEG

In einer Reihe von Experimenten wurden EEG-Messungen zur Erfassung von Gehirnaktivitäten auch bei wachen Personen eingesetzt, zum Teil auch zusammen mit anderen Messinstrumenten wie psychologischen Tests.

Auswahl der Untersuchungen

In den vier Gutachten werden zu diesem Thema insgesamt acht Arbeiten berücksichtigt (siehe Anhang B, Tabelle B4). Allerdings wird nur eine Arbeit (Röschke & Mann 1997) in allen vier Gutachten diskutiert.

Einschätzung der Befundlage in den Gutachten

Alle Gutachten kommen zu einer ähnlichen Einschätzung: Es gibt Hinweise auf einen Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Wach-EEG; aus denen jedoch nicht abgeleitet werden kann, dass damit Indizien für Gesundheitsschäden gegeben seien.

Diskussion

Beratender Experte war hier ebenfalls Dr. Lüdemann von der Klinik und Poliklinik für Neurologie der Universitätsklinik Münster.

Diskutiert wurden vor allem die Arbeiten von Röschke & Mann (1997) sowie der Berliner Forschungsgruppe (Freude et al. 1998; 2000) und der finnischen Forschungsgruppe (Krause et al. 2000). Die Ergebnisse dieser Studien zum Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Wach-EEG sind uneinheitlich. In einigen Fällen wurden Veränderungen des EEG gefunden, in anderen nicht.

Kasten 4: Diskutierte Schlüsselarbeiten Wach-EEG

Röschke & Mann (1997) untersuchen den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Wach-EEG. Sie konnten keinen Unterschied zwischen der Expositionsbedingung und der Nicht-Exposition feststellen.

Dagegen findet eine Berliner Forschungsgruppe (Freude et al. 1998), die den Einfluß hoch-

frequenter EMF auf langsame Hirnpotentiale untersuchte, eine statistisch signifikante Abnahme dieser Potentiale unter der Expositionsbedingung. Allerdings nur, wenn die Versuchspersonen kognitiv anspruchsvolle Aufgaben zu bearbeiten hatten, nicht aber bei einfachen manuellen Aufgaben. In zwei späteren Experimenten mit ganz ähnlichem Aufbau konnte dieses Resultat bestätigt werden (Freude et al. 2000)²¹. Ungeachtet dieser Unterschiede im EEG konnte in beiden Studien aber keine Abnahme der kognitiven Leistungsfähigkeit unter dem Einfluss von EMF beobachtet werden.

Krause et al. (2000a) untersuchen den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivität bei der Bearbeitung einer auditiven Gedächtnisaufgabe. Für die Phase der Enkodierung der Information ergibt sich kein Unterschied in den untersuchten EEG-Bändern zwischen Expositions- und Nicht-Expositionsbedingung. Dagegen zeigt sich in der Abrufphase der Information unter der Expositionsbedingung eine statistisch signifikante Veränderung in der ereignisbezogenen Synchronisation und Desynchronisation für in allen untersuchten Frequenzbändern. Ein Einfluss der Exposition auf die kognitive Leistungsfähigkeit (Fehlerrate) wurde nicht gefunden. In einer neueren Untersuchung der gleichen Forschungsgruppe (Krause et al. 2000b)²² mit einer visuellen Gedächtnisaufgabe findet sich ebenfalls ein statistisch signifikanter Leistungsanstieg im EEG. Auch hier zeigt sich aber kein Effekt der Exposition auf die kognitive Leistungsfähigkeit (Reaktionszeit und Fehlerrate).

Glaser kam bei seiner Einschätzung der Befundlage zu dem Schluss, dass es in den verfügbaren Untersuchungen Hinweise für Wirkungen auf das ZNS gibt. Er bemerkte, dass bei der Exposition mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks reversible Effekte auftreten können, für deren Zustandekommen bislang kein Mechanismus bekannt ist und die deshalb einer weiteren Untersuchung bedürfen. Er sah aber keinerlei Hinweise darauf, dass es zu einer gesundheitlichen Beeinflussung kommt. Für Küppers vom Öko-Institut ließen sich die bisherigen Forschungsergebnisse nicht zu einem einheitlichen Bild zusammensetzen; eine Einschätzung der gesundheitlichen Relevanz war deshalb seiner Auffassung nach nicht möglich. Er verwies darüber hinaus darauf, dass Studien bislang nur an gesunden Erwachsenen durchgeführt worden sind und Aussagen über andere (möglicherweise sensiblere) Personengruppen daraus nicht abgeleitet werden können. Für Silny war die Bedeutung der gefundenen Effekte schwer einzuschätzen. Seines Erachtens ist zunächst einmal eine Replikation der Effekte in unabhängigen Studien erforderlich, bevor die Frage nach den Wirkungsmechanismen und gesundheitlichen Relevanz untersucht werden kann. Neitzke vom Ecolog-Institut schätzte dagegen die Beleglage durch die verschiedenen Studien als so einheitlich ein, dass er konsistente Hinweise für einen Einfluss hochfrequenter elektro-

²¹ Dazu die Autoren: "The influence of electromagnetic fields (EMF) emitted by cellular telephones on preparatory slow brain potentials (SP) was studied in two experiments, about 6 months apart. In the first experiment, a significant decrease of SP was found during exposure to EMF in a complex visual monitoring task (VMT). This effect was replicated in the second experiment. In addition to the VMT, EMF effects on SP were analysed in two further, less demanding tasks: in a simple finger movement task to elicit a Bereitschaftspotential (BP) and in a two-stimulus task to elicit a contingent negative variation (CNV). In comparison to the VMT, no significant main EMF effects were found in BP and CNV tasks. The results accounted for a selective EMF effect on particular aspects of human information processing, but did not indicate any influence on human performance, well-being and health." (Abstract)

²² Diese neue Studie konnte in keinem der Gutachten berücksichtigt werden, wird aber in der schriftlichen Stellungnahme von Lüdemann behandelt und wurde auf dem Workshop angesprochen.

magnetischer Felder auf das Wach-EEG sieht. Er kritisierte die Arbeit von Röschke & Mann (1997), deren statistische Analyse zwar keinen Unterschied zwischen der Expositions- und Nicht-Expositionsbedingung ergeben hatte. Nach Ansicht von Neitzke lässt die graphische Darstellung aber einen Effekt wahrscheinlich erscheinen, der nur wegen der von Röschke und Mann benutzten Analysemethode nicht nachzuweisen ist. Diese Kritik wird auch schon im Ecolog Gutachten geäußert²³ und führte im Workshop zu einer Diskussion über die Auswertungsmethodik bei EEGs. Dabei stimmten die beiden beratenden Experten Birbaumer und Lüdemann dieser Einschätzung von Neitzke zu.

Der beratende Experte Lüdemann schränkte aber die Aussagekraft der Wach-EEG Untersuchungen für eine Risikobewertung grundsätzlich ein. Er verneinte die Brauchbarkeit des Wach-EEGs als Messinstrument für gesundheitliche Beeinträchtigungen durch hochfrequente elektromagnetische Felder. Lüdemann begründete diese Einschätzung mit dem Hinweis, dass das EEG als Messinstrument für die Untersuchung des Einflusses hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Gehirnaktivitäten im Wachzustand wenig geeignet ist, da es zwar sensibel auf Veränderungen der Hirnaktivität reagiert, aber eine Zuordnung messbarer EEG-Veränderungen zur Wirkung spezifischer Stimuli (etwa EMF) kaum möglich ist.

Diese Einschätzung wurde von den Gutachtern (wie auch vom anderen beratenden Experten Birbaumer) mitgetragen. Hinweise auf mögliche gesundheitsschädliche Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder lassen sich nach Einschätzung von Lüdemann aus den Untersuchungen zum Wach-EEG nicht ableiten.

Analyse der Argumente und Bewertungslogiken

Im weiteren werden die Pro- und Kontra-Argumente, die in der Diskussion und in den Gutachten zu finden waren, von uns zusammengefasst und systematisiert. Als Pro-Argument fassen wir alle Argumente auf, die genutzt werden, um auf ein gesundheitliches Risiko beim Menschen hinzuweisen. Als Kontra-Argument, betrachten wir alle Argumente, die gegen einen solchen Verdacht sprechen. Diese Zusammenfassung der Argumente wurde mit den Gutachtern im Abschlussworkshop abgestimmt. Abschließend geben die vier Gutachter dann ihre Einschätzung der Pro- und Kontra-Argumente.

²³ Im Ecolog Gutachten heißt es dazu (S. 23): „Experimente von Röschke und Mann (*1997) ergaben für Kurzzeitexposition (3,5 Minuten, 900 MHz, GSM, 0,5 W/m²) nach dem Urteil der Autoren keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den EEGs von exponierten und schein-exponierten Probanden. Allerdings ist der Peak bei ca. 9 Hz in den abgebildeten, gemittelten Leistungsdichte-Spektren der exponierten Personen deutlich niedriger und schmaler als bei den schein-exponierten Personen.“

Pro	Kontra
Es gibt Befunde, die Effekte im Wach-EEG zeigen.	Störvariablen sind nicht ausgeschlossen. ²⁴
Das Fehlen von gesundheitsrelevanten Hinweisen schließt Risiken nicht aus.	Es gibt keine Hinweise auf negative gesundheitliche Wirkungen.
	Das Wach-EEG ist ein ungeeignetes Instrument für die Risikobewertung aufgrund hoher falsch positiv Resultate.

Auf der Pro-Seite stehen die Untersuchungen, die positiven Befunde, d.h. Veränderungen im EEG zeigen. Diese sind zum Teil reproduziert. Auf der Kontra-Seite gibt es drei Argumente: (1) Störvariablen sind nicht auszuschließen, (2) es gibt es keine Hinweise auf Gesundheitsstörungen der Effekte und (3) das Wach-EEG ist als Verfahren für eine Risikobewertung nicht aussagekräftig, weil es zwar hoch sensitiv, aber zu wenig spezifisch (hohe falsch positive Fehlerrate) ist.

Gewichtungen der Pro- und Kontra-Argumente durch die Gutacher

- Glaser: Vorwiegend durch das Kontra-Argument 3 erscheinen die EEG-Messungen als wenig aussagekräftig. Das Kontra-Argument 1 erklärt gleichzeitig die Widersprüchlichkeit vorliegender Messungen.
- Küppers: Die Kontra-Argumente sind überzeugender. Insbesondere ist aufgrund der diskutierten Sachverhalte zweifelhaft, ob Untersuchungen des Wach-EEG – anders als Untersuchungen des Schlaf-EEG – für die Risikobewertung geeignet sind.
- Neitzke: Die Ergebnisse der Untersuchungen zu den Beeinflussungen des Wach-EEG sind nicht einheitlich. Dies ist auf unterschiedliche Untersuchungsansätze, aber auch auf Schwierigkeiten bei der Anwendung dieser Untersuchungsmethode zurückzuführen. Die Tatsache, dass in einigen Untersuchungen trotzdem deutliche Effekte auf das Wach-EEG gefunden wurden, deutet darauf hin, dass diese Effekte relativ robust sind.
- Silny: Ich stimme für die Kontra-Argumente. Die wenigen Berichte über eine Veränderung des Wach-EEG in Feldern des Mobilfunks sind nicht überzeugend und auch nicht belegt durch andere vergleichbare Untersu-

²⁴ Dazu Lüdemann in seinem Gutachten: „Die wenigen Studien an Probanden wurden, auch wenn sie von der gleichen Arbeitsgruppe durchgeführt wurden, überwiegend mit unterschiedlichen Parametern hinsichtlich Trägerfrequenz, Modulation und Feldgeometrie durchgeführt. Desweiteren waren bekannte Effekte auf Vigilanz und Schlaf, wie Alkohol, Medikamente und Cannabiskonsum nicht immer a priori ausgeschlossen. Auch der Einfluss des Wochentages und der Anzahl der Nächte unter polysomnographischer Ableitung wurde in der Versuchsplanung und -durchführung nicht gewürdigt. Diese Mängel in den Primärstudien tragen zur unterschiedlichen Beurteilung durch die vier Gutachter bei.“ (Anhang A, S. 46)

chungen. Das Wach-EEG ist darüber hinaus sehr unspezifisch, zu viele individuelle wie auch äußere Einflüsse machen sich hier bemerkbar. Deshalb wird das Wach-EEG in der Medizin, mit Ausnahme weniger krankhafter Zustände, als einziges Instrument für die Diagnose nicht herangezogen.

6.3 Epidemiologie: Kanzerogene und teratogene Wirkungen

Die Epidemiologie untersucht die Verteilung von Krankheiten und deren Einflussfaktoren in der Bevölkerung. Kanzerogen meint krebserregend, teratogen bedeutet fruchtschädigend, das heißt am Embryo entstehen Missbildungen.

Auswahl der Untersuchungen

Insgesamt wurden in den vier Gutachten 28 epidemiologische Studien betrachtet, die in Tabelle B5 in Anhang B aufgeführt sind. Die Unterschiede zwischen den Gutachten sind allerdings beträchtlich.

Epidemiologische Untersuchungen zur Wirkung von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks auf den Menschen gibt es bislang nur für Mobilfunktelefone, nicht aber für Basisstationen. Zum Zeitpunkt der Fertigstellung der vier Gutachten lagen nur die Untersuchungen von Hardell et al. (1999) und Rothman et al. (1996) vor. Diese beiden Studien wurden von allen Gutachtern berücksichtigt.

Von Glaser und dem Ecolog-Institut wurden weiterhin Untersuchungen berücksichtigt, die im Umfeld von Sendeanlagen von Militär, Rundfunk und TV durchgeführt worden sind.

Schließlich wurden in diesen beiden Gutachten auch Studien zur beruflichen Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder ausgewertet, die sich allerdings hinsichtlich Art der Exposition sowie in Dauer und Intensität vom Mobilfunk unterscheiden.

In die Diskussion wurden darüber hinaus auch seit Erscheinen der Gutachten publizierte, neuere Untersuchungen einbezogen (Dreyer et al. 1999; Inskip et al. 2001; Johansen et al. 2001; Maskarinec et al. 1994; Muscat et al. 2000; Stang et al. 2001).

Einschätzung der Befundlage in den Gutachten

Silny kommt in bezug auf den Mobilfunk zu folgenden Schlussfolgerungen: „Aus dem aktuellen Wissensstand der Epidemiologie kann zwar nicht abgeleitet werden, dass die Felder von Mobilfunkanlagen keine gesundheits-schädlichen Wirkungen verursachen, jedoch deuten die Ergebnisse an, dass

es zu keiner gravierenden Beeinträchtigung der Gesundheit durch diese Felder kommt.“ (Silny, S. 31).

Das Öko-Institut schlussfolgert aus seiner Auswertung der Arbeiten zur Handynutzung, dass die durchgeführten Studien lediglich Vorstudiencharakter besitzen und keine abschließenden Aussagen über eventuelle Auswirkungen auf den Menschen erlauben. Nach Auffassung des Öko-Instituts zeigen sie lediglich, dass es keine Hinweise auf massive Gesundheitsschäden gibt (vgl. Öko-Institut, S. 37).

Aus Sicht des Ecolog-Instituts ist nach einer Bewertung der Gesamtheit der epidemiologischen Studien davon auszugehen, dass elektromagnetische Felder mit Frequenzen im Mobilfunkbereich eine Rolle bei der Entwicklung von Krebs spielen, insbesondere für Tumoren des zentralen Nervensystems (vgl. Ecolog Gutachten, S. 35). In diesem Zusammenhang wird auf die Studie von Hardell (1999) verwiesen.

Glaser sieht die Aussagekraft epidemiologischer Untersuchungen eingeschränkt, aufgrund mangelnder exakter Dosis-Angaben. Nach Glaser "kommen die weitaus meisten der Autoren zu dem Schluss, dass es die bisherigen Erhebungen nicht zulassen, von einem gesundheitlichen Risiko hochfrequenter Felder im Frequenz- und Intensitätsbereich des Mobilfunks zu sprechen." (Glaser, S. 57).

Diskussion

Für die Epidemiologie wurde Dr. J. Schüz vom Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik der Universität Mainz als beratender Experte gewonnen.

Zum Zeitpunkt der Erstellung der Gutachten gab es nur wenige Studien zu Handynutzung und Tumoren. Es handelt sich um Arbeiten von Rothman (1996) und von Hardell (1999). Diesen Arbeiten galt naturgemäß das besondere Interesse der Gutachter, weil die Handynutzung als Risikofaktor untersucht wird. Ergebnisse solcher Studien lassen sich so ohne weitere Zusatzannahmen für die Risikobewertung der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks nutzen. Allerdings wird von Gutachterseite – insbesondere von Glaser – auf die Problematik hingewiesen, dass diese Studien nur eingeschränkt kausale Zusammenhänge ermitteln können.

Kasten 5: Diskutierte Schlüsselarbeiten Epidemiologie: Handy-Studien

Rothman et al. (1996) stellen Ergebnisse einer amerikanischen Kohortenstudie dar, die später abgebrochen wurde. Dabei wurde die Gesamtmortalität der Nutzer von Handys mit der der Nutzer von „nonhandheld“ Mobiltelefonen (Autotelefone etc.) verglichen. Bei diesen Berechnungen wurden keine relevanten Unterschiede zwischen den Nutzgruppen beobachtet.

Die Studie von Hardell et al. (1999) ist eine bevölkerungsbezogene Fallkontrollstudie in Teilregionen von Schweden, die auf der Auswertung von 209 Fällen (Tumor-Patienten) und 425 Kontrollen basierte. Erhöhte Risiken für Handynutzer, einen Hirntumor zu entwickeln wurden nicht beobachtet: Es errechneten sich Risikoschätzer (Odds Ratio; Abk.: OR) von 0.98²⁵ (95%-KI 0.69 - 1.41) für Latenzzeiten von einem Jahr und von 0.83 (95%-KI 0.49 - 1.42 für Latenzzeiten von fünf Jahren). Auch eine getrennte Auswertung wenn digitale Systeme (GSM) und analoge Systeme (NMT) getrennt ausgewertet werden, ergibt sich kein erhöhtes Risiko. Eine Unterteilung nach der Nutzungsdauer zeigte für keine Untergruppe ein zunehmendes Risiko bei zunehmender Nutzungsdauer der Mobiltelefone. Auch für die Untergruppe mit der längsten und stärksten Exposition – Personen, die ihr (analoges NMT-)Handy in einem Zeitraum von mindestens zehn Jahren mehr als 968 Stunden benutzt hatten – zeigte sich keine Assoziation; das Odds Ratio lag bei 1.06 (95%-KI 0.33 - 3.40). Die Autoren untersuchten auch, ob Hirntumore häufiger an derjenigen Kopfseite auftreten, an die das Handy typischerweise gehalten wird. Hierbei zeigte sich eine tendenzielle, aber nicht signifikante Übereinstimmung sowohl für rechts-rechts (OR 2.45, 95%-KI 0.78 - 7.76) als auch links-links (OR 2.40, 95%-KI 0.52 - 10.9), die auf insgesamt 13 exponierten Fällen beruhte. Von diesen nutzten 9 ausschließlich NMT-Handys, 3 NMT- und GSM-Handys und eine Patientin nur ein GSM-Handy.

Anlass zur Diskussion bot die Untersuchung von Hardell et al. (1999), die in der Argumentation von Neitzke eine zentrale Stelle einnahm. Er sieht hier Hinweise auf gesundheitliche Risiken. Diese Untersuchung stand deshalb im Mittelpunkt der Diskussion. Schüz führte dazu aus, dass die Hardell-Studie keinesfalls die Schlussfolgerungen deckt, die Eclog zieht (siehe weiter oben). Dabei verwies Schüz auf die Befunde der Hardell-Studie: Es finden sich keine erhöhten Risiken für Handy-Nutzer, an einem Hirntumor zu erkranken. Damit ist die Seitenübereinstimmung von Tumor-Position und der Seite der Handy-Nutzung sehr kritisch zu betrachten, weil sie bedeutet, dass auf der gegenüberliegenden Kopfseite weniger Tumore auftraten als erwartet. Zudem wies Schüz darauf hin, dass die Seitenübereinstimmung der Hardell-Studie auf Grund der kleinen Fallzahl mit einer hohen statistischen Unsicherheit verbunden ist.

In diesem Zusammenhang brachte Schüz auch die neueren Studien von Muscat (2000) und Inskip (2001) ein, die hinsichtlich der Seitenübereinstimmung ein differenzierteres Bild zeichnen.²⁶ Er weist darauf hin, dass bei Inskip (2001) sich keine Übereinstimmung findet; bei Muscat (2000) gibt es eine Seitenauffälligkeit, jedoch nicht für den Temporallappen, die Hirnregion, der das Handy am Kopf am nächsten kommt. Ein weiteres Argument von Schüz bezieht sich auf die Frage, wie aussagekräftig Seitenzusammenhänge sein können. Bei den bisher sehr kleinen Fallzahlen exponierter Personen und möglichen Erinnerungsverzerrungen (Patienten müssen ihre bevorzugte

²⁵ 1 bedeutet keine Risikoauffälligkeit, > 1 eine Risikoerhöhung und <1 eine Risikominderung.

²⁶ Siehe dazu auch die schriftliche Stellungnahme von Schüz in Anhang A.

Kopfseite bei der Handynutzung angeben) bleibt die Seitenübereinstimmung ein relativ schwaches Indiz. Eine stärkere Aussage erlaubt der Vergleich der exakten Lokalisation des Tumors mit den durch Handy-Strahlung besonders exponierten Gehirnarealen. Diese Korrelationsanalysen werden in der laufenden, sehr großen Hirntumorstudie der WHO möglich sein.

Insgesamt waren sich die Gutachter – bis auf Neitzke – einig, dass sich aus den vorliegenden Handystudien keine Hinweise auf Risiken ableiten lassen. Glaser, Silny und Küppers (Öko-Institut) konnten sich auf die Bewertung von Schüz einigen, der aber darauf hinweist, dass auch die neueren Studien einen eher vorläufigen Charakter haben und deshalb negative Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren sind: "Sie weisen lediglich darauf hin, dass es zu keiner bedeutsamen Beschleunigung eines Tumorwachstums kommt und es sich um kein massives Gesundheitsrisiko für Hirntumoren allgemein handelt." (Schriftliche Stellungnahme Schüz, Anhang A, S.66).

Im weiteren wurden Studien zu Rundfunk- und Fernsehsendern sowie zu militärischen Anlagen (z. B. Radar) diskutiert. Zwischen den Gutachtern ist unstrittig, dass sich diese Sendeanlagen in der Frequenz, in der Signalform und vor allem in der Leistung vom Mobilfunk unterscheiden. Der Übertrag der Ergebnisse dieser Studien auf den Mobilfunk wird aber ganz verschieden beurteilt. Insbesondere Silny zeigte sich hier skeptisch, während die anderen Gutachter sowie Schüz durchaus Beiträge – wenngleich erst nach besonders sorgfältiger Prüfung – für die Risikobewertung der EMF des Mobilfunks erwarten.

Im Mittelpunkt der Diskussion standen die Studie von Hocking et al. (1996) in North Sydney (Australien) und die Reanalyse dieser Arbeit durch McKenzie (1998) sowie die Studien von Dolk et al. (1997a, 1997b) in Großbritannien.

Kasten 6: Diskutierte Schlüsselarbeiten Epidemiologie: Rundfunk- und Fernsehsender

Hocking et al. (1996) ermitteln für einen 18-jährigen Zeitraum für den Nahbereich (bis zu 4 km Entfernung) um drei Sendeanlagen in Nord-Sydney im Vergleich zu den an die Bereiche (über 4 km bis 15 km) zu angrenzenden Stadtteile ein erhöhtes Leukämierisiko: Für alle Altersklassen beträgt das relative Risiko RR 1.24 (95%-KI 1.09 - 1.40), für Kinder ist das RR 1.58 (95%-KI 1.07 - 2.34). Die Frequenzen der Sendeanlagen variierten zwischen 63 und 215 MHz.

Die australische Hocking-Studie wurde von McKenzie et al. (1998) einer Re-Analyse unterzogen. McKenzie und Mitautoren stellen fest, dass sich die erhöhte Leukämierate bei Kindern der Hocking-Studie nur in einer bestimmten Region findet. Dabei treten die Häufungen von Leukamiefällen nur in der Zeit auf, in der der Sender noch nicht mit voller Leistung sendete. Nach McKenzie et al. sollte deshalb die Hocking Studie nicht kausal interpretiert werden, da offenbar andere, nicht auf EMF bezogene Risikofaktoren vorliegen. Sie verweisen hier auf genetische und infektiöse Faktoren.

Dolk et al. (1997a) untersuchen Leukämien in der Umgebung des Sutton Coldfield Senders. Hier zeigt sich eine signifikante Erhöhung der Leukämiefälle im Vergleich zu der Anzahl, die statistisch zu erwarten war. Mit identischer Methodik wie bei Dolk et al. (1997a) untersuchen die gleichen Autoren 20 andere Sendestationen in Großbritannien (Dolk et al. 1997b). In dieser erweiterten Studie konnte die Hypothese eines erhöhten Leukämie-Risikos in der Nähe

von Sendeanlagen nicht bestätigt werden. Traten um Sutton Coldfield im 2 km-Umkreis noch 23 Leukämiefälle gegenüber 12.6 erwarteten Fällen auf (RR 1.83, 95%-KI 1.22 – 2.74), ergab die Erweiterungsstudie für die gleiche Erkrankung im gleichen Abstand von den Sendern ein RR von 0.97 (95%-KI 0.78 - 1.21; 79 beobachtete Fälle gegenüber 81.6 erwarteten Fällen).

Die Diskussion dieser Arbeiten konzentrierte sich auf zwei Sachverhalte: Zum einen kritisierte Schüz, dass Ecolog die erweiterte Studie von Dolk et al. (1997b) nicht in die Diskussion einbezieht. Schüz wies darauf hin, dass Ecolog nur den positiven Befund im Nahbereich des Sutton Coldfield Senders bewertet, nicht aber die erweiterte Analyse der gleichen Autorengruppe um die 20 anderen Sender, die keine erhöhten Leukämie-Risiken zeigt. Weiter monierte er, dass Ecolog die Hocking-Studie und McKenzie-Studie so behandelt, als ob es zwei unabhängige Studien wären. Seines Erachtens wird nicht klar gemacht, dass McKenzie et al. die selben Daten reanalysiert und zu anderen Ergebnissen als Hocking kommt, die die Ecolog Interpretation der Hocking-Studie in Frage stellt.

Diese Kritik an dem Auslassen der Befunde von Dolk (1997b) schlossen sich Glaser, Silny und Küppers an. Neitzke wies aber darauf hin, dass seiner Auffassung nach auch die Einbeziehung der erweiterten Studien von Dolk (1997b) nichts an der Befundlage um den Sender von Sutton Coldfield ändert. Dabei verwies er auch auf verschiedene *Letter to the Editor* zu den Ergebnissen von Dolk et al., in denen die unterschiedlichen Befunde an den verschiedenen Sendern u. a. auf unterschiedliche Sender-Konstellationen (KW und MW) zurückgeführt werden. Seines Erachtens ist deshalb nicht geklärt, ob die Ergebnisse der zweiten Studie im Gegensatz zu der Untersuchung um Sutton Coldfield stehen.

Den letzten Schwerpunkt der Diskussion bildeten die epidemiologischen Studien zu beruflichen Expositionen. In solchen Studien werden Berufsgruppen untersucht, von denen man annehmen kann, dass sie gegenüber EMF exponiert sind. Ziel ist es, festzustellen, ob sie gegenüber der allgemeinen Bevölkerung oder einer weniger exponierten Gruppe ein erhöhtes Erkrankungsrisiko aufweisen. So wurden u.a. verschiedene Elektroberufe, z. B. Radio- und Fernsehmechaniker, Telegraphenarbeiter, Funker etc. untersucht.

Hier vertrat Glaser den Standpunkt, dass die Aussagekraft der vorhandenen Untersuchungen eingeschränkt ist, weil sie keine verlässlichen Aussagen zur Dosimetrie machen. Auch Neitzke teilt diesen Vorbehalt, will ihn aber nicht als pauschales Argument gegen die Berücksichtigung der Studien zur beruflichen Exposition gelten lassen, da Expositionsfehlklassifizierungen in der Regel durch die Überschätzung der Exposition der Fallgruppe und die Unterschätzung der Exposition der Kontrollgruppe zu einer 'Verdünnung' vorhandener Effekte und damit zu einer Unterschätzung des Risikos führen.

Schüz machte darauf aufmerksam, dass bei den Studien zur beruflichen Exposition zwei Probleme zu beachten sind. Zum einen ist damit zu rechnen, dass man im Beruf nicht nur Feldern des Mobilfunks ausgesetzt ist, sondern auch anderen Feldern. Zum anderen ist seiner Auffassung nach eben auch mit anderen beruflichen Risikofaktoren (z. B. chemische Noxen) im Beruf zu

rechnen. Das macht – in den Augen von Schüz – diese Studien fehleranfällig, denn oft werden diese zusätzlichen Risikofaktoren nicht berücksichtigt. Eine ganze Reihe dieser Untersuchungen entsprechen außerdem nach Schüz nicht mehr heutigen Qualitätsstandards (dies wird auch im Ecolog-Gutachten kritisch angemerkt, siehe dort S. 25) und die Expositionen, falls überhaupt bekannt, sind nicht mit denen von Mobilfunk-Anlagen zu vergleichen. Ein Problem besteht auch darin, dass viele Berufskrebsstudien aus der Auswertung von Routinedaten hervorgingen. Insbesondere bei frühen Studien besteht hier eine starke Tendenz, nur Studien zu publizieren, die zu auffälligen Resultaten geführt haben.

Küppers und Silny betrachteten wegen dieser Einschränkungen diese Studien nicht. Glaser, der zwar Studien zur beruflichen Exposition aufführt, sah aber – ähnlich wie Schüz – die erheblichen Probleme solcher Studien. Allein Neitzke bewertete diese Studien als Hinweise für Gesundheitsrisiken.

Die weitere Kritik von Schüz betraf insbesondere die unübersichtliche Darstellung der epidemiologischen Befunde sowie die fehlende kritische Diskussion der Befunde im Ecolog-Gutachten. Die unkommentierte Auflistung von Befunden ohne Darstellung der Fallzahlen, ohne die Angabe von Konfidenzintervallen und vor allem ohne Diskussion der Studienqualität und Aussagekraft der Studientypen wurden von Schüz als unzureichend bewertet. Diese Kritik an fehlenden Angaben zur Einschätzung der epidemiologischen Studien trifft allerdings die anderen drei Gutachten in gleicher Weise.

Der letzte Punkt der Diskussion bezog sich auf die Ableitung des Gesamturteils aus den oben aufgeführten drei Untersuchungsbereichen. Im Mittelpunkt stand folgende Aussage von Ecolog (Ecolog Gutachten, S. 34):

„Aufgrund der Auswertung der vorliegenden epidemiologischen Untersuchungen ist davon auszugehen, dass elektromagnetische Felder mit Frequenzen im Mobilfunkbereich eine Rolle bei der Entwicklung von Krebs spielen“.

Diese Bewertung wurde als nicht ableitbar kritisiert. Schüz bemängelte, dass die Ecolog-Gesamtbeurteilung nicht schlüssig aus den in der Diskussion gegebenen Ecolog-Einzelbewertungen der drei Bereiche (Handy, Sendeanlagen und berufliche Exposition) folgt.

In der abschließenden Diskussion zum Themenfeld Epidemiologie modifizierte Neitzke seine Bewertung der Studien zum Zusammenhang von EMF des Mobilfunks und Krebs von „*spielt eine Rolle*“ zu „*Es gibt Hinweise*“.

Analyse der Argumente und Bewertungslogiken

Im weiteren werden die Pro- und Kontra-Argumente, die in der Diskussion und in den Gutachten zu finden waren, von uns zusammengefasst und systematisiert. Als Pro-Argument fassen wir alle Argumente auf, die genutzt werden, um auf ein gesundheitliches Risiko beim Menschen hinzuweisen. Als Kontra-Argument betrachten wir alle Argumente, die gegen einen solchen

Verdacht sprechen. Diese Zusammenfassung der Argumente wurde mit den Gutachtern im Abschlussworkshop abgestimmt. Abschließend geben die vier Gutachter dann ihre Einschätzung der Pro- und Kontra-Argumente.

Die Auseinandersetzung spielt sich auf drei Ebenen ab: Zum ersten geht es um die Frage, welche Studien überhaupt eine Aussage zur Risikobewertung des Mobilfunks ermöglichen. Zum zweiten geht es um die Qualitätsanforderungen an epidemiologische Studien und schließlich geht es drittens um die Art und Weise, wie Studien zusammenzufassen sind und welche Schlussfolgerungen das wissenschaftliche Gesamtbild zulässt.

Erkennbar sind drei Pro-Argumente. Zum einen wird auf die positive Befundlage verwiesen, die bei Fernseh- und Rundfunksendern, aber auch insbesondere bei Studien zur beruflichen Exposition zu finden ist. Das weitere Pro-Argument ist die Seitenauffälligkeit, das heißt, die Übereinstimmung zwischen (berichteter) Seite der Handynutzung und der Seite der Tumorbildung. Schließlich – das gilt für die Studien zur Handynutzung – wird unterstrichen, dass man wegen der langen Latenzzeiten bei der Krebsentwicklung noch nicht erwarten kann, zum jetzigen Zeitpunkt schon Effekte nachweisen zu können.

Pro	Kontra
Es gibt Untersuchungen zur RF-Exposition durch Fernseh- und Rundfunksender und zur beruflichen Exposition, die erhöhte Risikoschätzer für Krebserkrankungen ergeben.	Ergebnisse zu den Fernseh- und Rundfunksendern finden keine Bestätigung in erweiterten Studien.
Untersuchung zur Handynutzung und Hirntumoren ergibt Tendenz zur Seitenübereinstimmung.	Handystudien zeigen kein erhöhtes Risiko.
Bislang fehlende positive Ergebnisse lassen sich dadurch erklären, dass die Beobachtungszeiträume der Handynutzung noch zu kurz sind, um Effekte zu erfassen.	Bei den Studien zur beruflichen Exposition ist keine zuverlässige Dosimetrie vorhanden.
	Bei den Studien zur beruflichen Exposition werden Störvariablen nicht beachtet.

Als Kontra-Argument wird zum einen auf die Befundlage bei den Handystudien hingewiesen, die kein erhöhtes Tumorrisiko bei den Handynutzern zeigen. Allerdings steht dem entgegen, dass – zumindest bei den digitalen Systemen (GSM) – die Beobachtungszeiträume noch zu kurz sind, um abschließende Aussagen machen zu können.

Weitere Kontra-Argumente beziehen sich auf die bisher durchgeführten Studien zu den beruflichen Expositionen: (1) Zumeist kann bei den Studien zur beruflichen Exposition keine verlässliche Angabe zu den Expositionen gemacht werden, (2) noch lassen sich Störvariablen ausschließen. Daraus folgt, dass es fraglich ist, ob mit diesen Studien überhaupt Aussagen zu dem Fre-

quenz- und Intensitätsbereich elektromagnetischer Felder des Mobilfunks getroffen werden können.

Gewichtungen der Pro- und Kontra-Argumente durch die Gutacher

- Glaser: Obgleich das Argument Pro-3 (kurze Beobachtungszeiträume) nicht von der Hand zu weisen ist, sind die Kontra-Argumente doch stichhaltiger. Das Pro-Argument-1 ist nicht stichhaltig, denn es bezieht berufliche Expositionen ein, die z.T. über den Grenzwerten liegen. Insbesondere ist die, inzwischen erschienene, dänische Studie von Johansen et al. zu werten (J. National Cancer Institute 93(3), 203-207. 2001). Hier wurden 420.000 Handy-Nutzer in den Jahren 1982 - 1995 erfasst, ohne dass signifikante Unterschiede gefunden werden konnten.
- Küppers: Aufgrund der genannten Kontra-Argumente haben die epidemiologischen Untersuchungen am Menschen bislang keine gesundheitliche Auswirkung belegt. Allerdings sind die Beobachtungszeiträume kurz und Randbedingungen der Exposition schwer nachvollziehbar, so dass auch nur bei sehr massiven Auswirkungen eindeutige Ergebnisse zu erwarten gewesen wären.
- Neitzke: Es gibt Hinweise aus epidemiologischen Studien auf eine kanzerogene Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder. Allerdings ist die Zahl der Studien gering und die Ergebnisse sind nicht einheitlich. Trotz der an sich noch viel zu kurzen Beobachtungszeiträume ergaben drei der fünf vorliegenden epidemiologischen Studien zur Handy-Nutzung erste Hinweise auf ein erhöhtes Gehirntumor-Risiko bei Personen, die Mobiltelefone häufig und über viele Jahre benutzten.
- Silny: Nur die Kontra-Argumente sind für mich nachvollziehbar. Die Pro-Argumente bauen auf Ergebnisse einzelner Studien, die wegen ihres schlechten Designs und zu kleinen Umfangs nicht ernst genommen werden können. Für die Argumentation werden diese Publikationen über eine angebliche Wirkung der Rundfunkfelder herangezogen, obwohl diese Felder seit mehr als 50 Jahren auf uns einwirken und daher dem dritten Pro-Argument widersprechen. Umgekehrt wird dem Hinweis auf die lange Einwirkzeit der Rundfunk- und Fernseh-Sender mit der Betonung der Besonderheit der Mobilfunkfelder begegnet, ohne dass Krankheitshäufigkeiten relevant angestiegen sind. Es ist offensichtlich, dass die Argumente nach Belieben ausgewechselt werden.

6.4 Tieruntersuchungen: Kanzerogene und teratogene Wirkungen

Kanzerogene Wirkungen betreffen die Krebsentwicklung. Im Zusammenhang mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern wurde vor allem der Prozess der Krebs-Promotion untersucht, d.h. die Frage, ob solche Felder das Wachstum von Krebsgeschwulsten, die durch andere Faktoren erzeugt wur-

den, beschleunigen können. Teratogene Wirkungen sind Einflüsse auf den Embryo, die zu Missbildungen führen. Ob physikalische, chemische oder biologische Agenzien diese Wirkungen haben, kann aus ethischen Gründen nur in Tierversuchen ermittelt werden.

Ausgewählte Untersuchungen

In den vier Gutachten wurden insgesamt 17 Arbeiten zu kanzerogenen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Tieruntersuchungen berücksichtigt (siehe Tabelle B6 in Anhang B). Drei Studien (Chou et al. 1992; Frei et al. 1998a,b) wurden von allen Gutachtern zitiert und weitere sechs Studien (Adey et al. 1999; Repacholi et al. 1997; Santini et al. 1998; Szmigielski et al. 1982; Wu et al. 1994; Toler et al. 1997) von drei Gutachtern.

Zu den teratogenen Wirkungen in Tieruntersuchungen wurden in den Gutachten insgesamt 38 Arbeiten aufgeführt (siehe Tabelle B7 in Anhang B), wobei Silny keine Studien benannt hat, da nach seiner Einschätzung die in solchen Studien gefundenen Effekte alle durch thermische Wirkungen erklärt werden können und deshalb für eine Risikobewertung hochfrequenter Felder unterhalb der Grenzwerte nicht relevant sind. Nur eine Studie (Jensh, Vogel & Brent 1983) wurde in drei Gutachten genannt. Die restlichen wurden entweder in zwei oder nur in einem Gutachten zitiert.

Einschätzung der Befundlage in den Gutachten

Die Gutachten kommen bei der Bewertung tierexperimenteller Untersuchungen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Silny sieht keine Hinweise auf eine krebsfördernde Wirkung von EMF des Mobilfunks: Aus den Ergebnissen lässt sich kein Verdacht, weder auf eine direkte, noch auf eine kumulative Wirkung von Mikrowellen bei Promotion der ZNS-Tumore ableiten.“ (Gutachten Silny, S. 38). Im Hinblick auf kanzerogene Effekte in Tierstudien sehen Glaser, Ecolog, und das Öko-Institut einzelne relevante Befunde, die sie aber unterschiedlich bewerten. Glaser stellt zusammenfassend fest, dass „offenbar lediglich in Fällen intensiver thermischer Belastung der Versuchstiere eine Gefahr der Krebsentstehung besteht“ (Gutachten Glaser S. 34)²⁷. Dagegen verweist Ecolog auf kanzerogene Wirkungen für pulsmodulierte hochfrequente Felder ab einer Leistungsflussdichte von 3 W/m² (Gutachten Ecolog, S. 29). Das Öko-Institut sieht ein uneinheitliches Gesamtbild, u.a. bedingt durch unterschiedliche Tierstämme, Versuchsbedingungen und Gruppengrößen, und stellt abschließend fest: „Festzuhalten bleibt, dass es sowohl bei experimentell prädisponierten Tierstämmen als auch bei nicht genetisch beeinflussten Tierstämmen neben Arbeiten, in denen keine Effekte gefunden wurden, einzelne experimentelle Untersuchungen gibt, in denen gehäuft Tumoren auftraten“ (Gutachten Öko-Institut, S. 35).

²⁷ Glaser weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass die Untersuchungen von Repacholi et al. (1997) die einzigen Indikatoren sind, die auf einen Einfluss von EMF des Mobilfunks auf die Krebspromotion verweisen.

Diskussion

Als beratender Experte nahm Dr. Jochen Buschmann vom Fraunhofer Institut für Toxikologie und Aerosolforschung teil.

Bei der Diskussion der Arbeiten zur Teratogenese / Fertilitätsstörungen kamen die Gutachter zu dem Konsens, dass die beobachteten Effekte thermische Ursachen haben und dass nichtthermische Effekte weniger wahrscheinlich sind.

Uneins waren sich die Gutachter bezüglich der Kanzerogenität. Während Silny diese ausschloss, das Öko-Institut auf eine uneinheitliche Befundlage verwies und Glaser die Notwendigkeit der Reproduktion der Untersuchung von Repacholi et al. (1997) betonte, bestanden für Neitzke Hinweise auf die Krebsentstehung. Zentrales Argument war dabei für ihn die Arbeit von Repacholi et al. (1997) an transgenen Mäusen.

Kasten 7: Diskutierte Schlüsselarbeiten tierexperimentelle Untersuchungen zu kanzerogenen Effekten

Repacholi et al. (1997) vergleichen eine scheinexponierte Gruppe von 100 Eμ-Pim 1 transgene Mäuse mit einer exponierten Gruppe von 101 transgenen Mäuse, die während 18 Monaten (zweimal 30 min pro Tag) mit 900 MHz / 217Hz befeldet wurden. Die gemittelte SAR betrug 0.13 – 1.4 W/kg. Charakteristisch für Pim 1 transgene Mäuse ist die drastisch erhöhte Lymphomrate aufgrund einer genetischen Prädisposition.

Es konnte eine statistisch signifikante 2.4fache Erhöhung der Lymphoma-Tumoren bei der exponierten Gruppe gezeigt werden.

Die Autoren merken in der Diskussion als kritische Punkte an, dass erstens die vorhandene, begrenzte Literatur zum Thema keinen plausiblen Mechanismus bietet, wodurch EMF-Exposition direkt oder indirekt – durch Effekte auf die Immunkompetenz – eine Erhöhung der Inzidenz der Lymphomen bewirkt. Zweitens weisen die Autoren auf die unklare Implikation der Studie für kanzerogene Risiken beim Menschen hin, da eine Übertragung von Mäusen auf Menschen durch Unterschiede in der Energie-Absorption schwierig ist. Im Weiteren können die Resultate nicht als Indikator für die Wirkung von EMF-Expositionen auf normale Tiere interpretiert werden. Sie bieten aber möglicherweise Hinweise auf Effekte bei genetischen Prädispositionen für bestimmte Krebsarten.

Die Autoren betonen aber auch die Wichtigkeit einer Replikation der Studie und eine Überprüfung, ob transgene Mäuse für den Nachweis biologischer Effekte von EMF geeignet sind.

Chou et al. (1992) untersuchen in einer Langzeitstudie mit 200 Ratten (Spargue-Dawley) 155 Parameter. In der exponierten Gruppe wurden 100 Ratten während 25 Monaten mit 2450 MHz pulsmoduliert (800 Pulse/s, Pulsdauer 10 μs) in einem speziellen Versuchskäfig befeldet. Die Ganzkörper SAR betrug 0.15 - 0.4 W/kg. Weitere 100 Ratten wurden scheinexponiert. Bei den meisten der 155 Parameter fanden sich keine Unterschiede zwischen den exponierten und den scheinexponierten Tieren. Es wurde jedoch eine statistisch signifikante vierfache Erhöhung von primären malignen Tumoren in der exponierten Gruppe gefunden. Die Autoren relativieren diesen Befund jedoch mit folgenden Argumenten: Erstens wurde die Anzahl der benignen Tumore nicht beeinflusst. Zweitens liegt die erhöhte Anzahl von primär malignen Tumoren in der Versuchsgruppe noch innerhalb der in der Literatur berichteten spontanen Krebsrate bei den Kontrolltieren. Die biologische Bedeutung der vierfachen Erhöhung von primär malignen Tumoren wird außerdem als fraglich bewertet. Dabei berufen sich die Autoren auf die *Guidelines zum Carcinogenicity Risk Assessment* von 1986 der amerikanischen Umweltbehörde EPA: "A statistically significant increase of all types in the aggre-

gate, in the absence of a statistically significant increase of any individual tumor type, should be regarded as minimal evidence of carcinogenic action unless there are persuasive reasons to the contrary." (zitiert nach Chou et al. 1992, S. 493).

Nach Ansicht des beratenden Experten Buschmann kommt der Repacholi-Studie ein geringeres Gewicht zu. Als Gründe nannte Buschmann verschiedene Kritikpunkte, die in seiner schriftlichen Stellungnahme ausführlich dargestellt werden: Es war ihm nicht einsichtig, warum mit transgenen Mäusen in einem Langzeitexperiment gearbeitet wurde. Der Vorteil von transgenen Mäusen ist die zeitlich schnellere Bildung von Lymphomen, was vor allem in Kurzzeitexperimenten bei normalen Kanzerogenitätstests sinnvoll ist. Bei Langzeitexperimenten ist dies wegen der genügend großen Zeitdauer nicht nötig, so dass mit „normalen Mäusen“ gearbeitet werden kann. Eine dreifache Rückkreuzung mit dem Wildtyp führt darüber hinaus zu einem schwer reproduzierbaren Genotyp.

Sein zweiter Kritikpunkt betraf die fehlenden Angaben zur tatsächlich ausgewerteten Anzahl der Tiere, da nur die Originalgruppengröße genannt wurde. Dies ist insbesondere deshalb kritisch, da nach Angaben der Autoren bis zum Schluss unauffällige Tiere in der Untersuchung nicht berücksichtigt wurden, ohne dass deren Anzahl genannt wird. Außerdem erscheint die Anzahl der aufgrund von Autolyse nicht auswertbaren Tiere zu hoch. Dies ist besonders unter dem Hinweis wichtig, dass Kanzerogenitätsprüfungen als nicht valide gelten, wenn mehr als 10% der Tiere nicht auswertbar sind. Im Weiteren merkte Buschmann kritisch an, dass die Expositionszeit (2 x 30 Minuten pro Tag) zu kurz ist und nirgends begründet wird.

Nach Buschmann müssen die dargestellten – von allen Diskussionsteilnehmern unbestrittenen – methodischen Kritikpunkte nicht notwendigerweise das Versuchsergebnis beeinflussen. Wenn sie es tun, so können sie sich jedoch sowohl in Richtung einer Überschätzung wie einer Unterschätzung des tatsächlichen Effekts auswirken. Dieser Einschätzung schließen sich die anderen Gutachter an, nur Neitzke geht davon aus, dass – auch unter Berücksichtigung der methodischen Schwächen – die Repacholi-Studie als Beleg für kanzerogene Effekte zu werten ist. Silny und Glaser sehen zwar hier Hinweise, allerdings müssten diese noch durch eine unabhängige Untersuchung bestätigt werden.²⁸ So steht Einschätzung gegen Einschätzung und keine Seite konnte – zumindest in dem zur Verfügung stehenden, begrenzten Zeit – die Argumente der anderen entkräften. Klarheit könnte hier nur – so Glaser – eine Replikation des Experiments bringen.

Die zweite wichtige Arbeit, die ausführlich diskutiert wurde, war die Studie von Chou et al. (1992). Die Studie wird von Buschmann als wichtig bewertet, sie muss aber seines Erachtens erst reproduziert werden, bevor sie als belastbar für die Risikobewertung angesehen werden kann. Die Tatsache, dass diese Arbeit schon 1992 veröffentlicht, seit dem aber noch nicht repliziert wurde, wurde von Glaser in der Diskussion als Argument gegen die Belastbarkeit der

²⁸ Derzeit laufen entsprechende Replikationsstudien, z. B. im Rahmen des von der EU finanzierte PERFORMA-A Forschungsprojekts.

Befunde von Chou angeführt. Nach seiner Einschätzung legt dies die Vermutung nahe, dass Replikationen sehr wohl stattgefunden haben, aber ohne positives Ergebnis geblieben sind und deshalb nicht veröffentlicht wurden. Dem hält Neitzke entgegen, dass es wenig Anreize für Wissenschaftler gäbe, die Replikation von Experimenten durchzuführen, so dass die fehlenden Replikationen auch dadurch erklärt werden könnten. Auch hier endet die Diskussion wieder in unterschiedlichen Einschätzungen der Teilnehmer, die – jedenfalls im Moment – nicht aufgelöst werden können.

Als weiteren kritischen Punkt brachte Küppers die Frage der Übertragbarkeit von Tierstudien auf den Menschen ein. In diesem Zusammenhang betonte Buschmann die Notwendigkeit einer differenzierten Auswahl der geeigneten Tierart bzw. Tierstamm, der Auswahl geeigneter Feldstärken für Dosis-Wirkungs-Untersuchungen und einer kritischen Diskussion bzgl. unterschiedlichen Expositionsbedingungen wie z. B. die Vor- und Nachteile einer Befelddung von immobilisierten und freilaufenden Tieren.

Buschmann monierte außerdem, dass keine Studien vorliegen, die gemäß der Richtlinien durchgeführt worden sind, die in der tierexperimentellen Toxikologie bei der Risikoabschätzung von chemischen Stoffen üblich sind, einschließlich der dort geltenden Regeln der *Good Laboratory Practice* (GLP).

Analyse der Argumente und Bewertungslogiken

Im weiteren werden die Pro- und Kontra-Argumente, die in der Diskussion und in den Gutachten zu finden waren, von uns zusammengefasst und systematisiert. Als Pro-Argument fassen wir alle Argumente auf, die genutzt werden, um auf ein gesundheitliches Risiko beim Menschen hinzuweisen. Als Kontra-Argument betrachten wir alle Argumente, die gegen einen solchen Verdacht sprechen. Diese Zusammenfassung der Argumente wurde mit den Gutachtern im Abschlussworkshop abgestimmt. Abschließend geben die vier Gutachter dann ihre Einschätzung der Pro- und Kontra-Argumente.

In der Diskussion zeichnete sich ein Konsens im Hinblick auf die teratogenen Effekte ab: Die Gutachter sind der Auffassung, dass hier vor allem thermische Effekte eine Rolle spielen. In bezug auf kanzerogene Effekte in Tierversuchen besteht jedoch Dissens.

In der Auseinandersetzung um mögliche kanzerogene Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder geht es vor allem um die uneinheitliche Befundlage und um die Übertragung von tierexperimentellen Befunden auf den Menschen.

Pro	Kontra
Es gibt Untersuchungen, die auf kanzerogene Effekte verweisen.	Die Ergebnisse der Studien sind uneinheitlich. Es gibt eine Reihe von Untersuchungen, die keine Befunde zeigen.

Pro	Kontra
	Übertragung der vorliegenden Tierversuche auf den Menschen ist oft nur eingeschränkt möglich.

Pro Risikohinweis wird wie folgt argumentiert: Es gibt experimentelle Studien, die Effekte zeigen. Dabei wird auf die Arbeiten von Chou et al. (1992) und Repacholi (1997) verwiesen. Dem Vermerk, dass es eine Reihe von Studien gibt, die keine solchen Effekte zeigen, wird entgegnet, dass diese Studien keine direkten Replikationen sind. Solange solche Replikation nicht vorliegen, gilt erst einmal der vorliegende Befund.

Die Kontra-Argumente betonen, dass es eine Reihe von Tieruntersuchungen gibt, die keine Effekte zeigen. In bezug auf die Studien, die Effekte zeigen, wird eingewandt, dass diese noch nicht reproduziert sind und deshalb nicht bei einer Risikobewertung herangezogen werden sollten. Außerdem wird darauf aufmerksam gemacht, dass erst das wissenschaftliche Gesamtbild – die kritische Zusammenschau aller tierexperimentellen Befunde – eine Risikobewertung ermöglicht. Keinesfalls darf eine einzelne Arbeit – ohne Berücksichtigung der anderen Arbeiten zur Grundlage der Risikobewertung gemacht werden.

Sowohl die Pro- als auch die Kontra-Argumentation arbeitet hier mit dem Hinweis auf fehlende Reproduktion. Die Pro-Seite vermerkt, dass ohne die Widerlegung der Befund als gültig anzunehmen ist, eben bis zu seiner Widerlegung. Die Kontra-Seite kehrt dies um: Der Befund bleibt so lange unberücksichtigt, bis er reproduziert ist. Dieser widersprüchliche Umgang mit dem Kriterium der Reproduktion wird noch zu diskutieren sein (siehe Kap. 7).

Ein weiteres Argument auf der Kontra-Seite betrifft die eingeschränkte oder gar nicht mögliche Übertragbarkeit von tierexperimentellen Befunden auf den Menschen.²⁹ Dabei wird auf die Größen-Unterschiede zwischen Untersuchungstieren (meist Ratten oder Mäuse) und Menschen hingewiesen, die zu unterschiedlicher Aufnahme der EMF in den Körper führen. Bei gleicher Eindringtiefe der EMF sind – im Gegensatz zum Menschen – beim Tier die inneren Organe betroffen.³⁰ Aus der tierexperimentellen Toxikologie wird noch ein

²⁹ Dieses Argument wurde auch schon bei den verhaltensbiologischen Untersuchungen benutzt; siehe Kapitel 6.1.

³⁰ Neitzke wies in diesem Zusammenhang darauf hin, dass die Absorption elektromagnetischer Felder im Körper kompliziert ist: Die absorbierte Energie hängt zum einen von den Abmessungen des Körpers bzw. der exponierten Körperteile im Verhältnis zur Wellenlänge ab. Bei den Feldern des Mobilfunks (Wellenlänge rund 30 cm) ist der Kopf des Menschen stärker in Resonanz als sein Rumpf. Auch im Vergleich zur Maus liegt der Kopf des Menschen dichter am Resonanzmaximum. Die Eindringtiefe hängt von den Absorptionseigenschaften des Gewebes bei der jeweiligen Frequenz ab. Tief im Inneren liegende Organe könnten bei Maus und Ratte stärker betroffen sein als beim Menschen, wenn man von der gleichen Gesamtabsorption ausgeht. Ob dies bei gegebener Leistungsflussdichte gegeben ist, hängt also u.a. von den Abmessungen des Körpers bzw. der exponierten Körperteile im Verhältnis zur Wellenlänge ab, aber auch von der Orientierung des Körpers bzw. Körperteils zum Wellen- bzw. Polarisationsvektor. Bei Gewebe und Organen, die dichter an der Oberflä-

Zusatzargument abgeleitet. Hier gelten bestimmte Standards:³¹ In Abhängigkeit von Qualität des Wissens aus den Tierexperimenten wird abgestuft angegeben, mit welcher Sicherheit damit Aussagen über die Krebsentwicklung beim Menschen gemacht werden können. Diesen Standards entsprechen die bisherigen Studien nicht.

Gewichtungen der Pro- und Kontra-Argumente durch die Gutacher

- Glaser: Die Kontra-Argumente sind stichhaltig. Die immer wieder zitierte Studie von Repacholi konnte von anderen Autoren nicht reproduziert werden. Auch 6 Jahre nach Publikation haben Repacholi und Mitarbeiter selbst trotz angekündigter Aktivitäten die Resultate nicht bestätigt. Insbesondere die Arbeiten der japanischen Gruppe um Imaida et al. (Carcinogenesis 22, 1837-1841, 2001) und Takahashi et al. (Cancer Research 62, 1956-1960, 2002) sprechen gegen die von Repacholi erhobenen Befunde.
- Küppers: Die Kontra-Argumente sind insgesamt überzeugender. Die bisherigen Ergebnisse von Tierexperimenten sind zu uneinheitlich, als dass aus diesen Ergebnissen Schlussfolgerungen im Hinblick auf den Menschen belastbar zu ziehen wären.
- Neitzke: Es gibt einige Experimente, die auf eine kanzerogene Wirkung hinweisen. Da unterschiedliche Tiere und Endpunkte untersucht und unterschiedliche Methoden angewandt wurden, sind die vorliegenden Ergebnisse kaum vergleichbar. Wenn trotzdem immer wieder Hinweise auf kanzerogene Wirkungen gefunden wurden, ist dies ein starkes Argument für eine reale Wirkung, die offensichtlich auch nicht auf eine Tierart beschränkt ist.
- Silny: Ich ziehe eindeutig die Kontra-Argumente vor. Für die Pro-Argumentation stellt die Arbeit von Repacholi et al. (1997) den Schlüssel dar, wobei die Widersprüchlichkeit unter der Einbeziehung von anderen Publikationen nicht beachtet wurde. Die gerade erschienene Arbeit, die unter besser kontrollierten Bedingungen die Repacholi-Untersuchung repliziert, konnte die berichteten Ergebnisse nicht bestätigen. Damit entbehrt die Pro-Argumentation jeglicher Grundlage.

che liegen, spielt das Verhältnis der Abmessungen des Körpers bzw. der exponierten Körperteile zur Wellenlänge die entscheidende Rolle.

³¹ Proposed Guidelines for Carcinogen Risk Assessment; Notice. Federal Register 61:17960-1801, 23 April 1996; Guidelines for Developmental Toxicity Risk Assessment. Federal Register 56: 63798-63826, 5 December 1991; Guidelines for Exposure Assessment. Federal Register 57: 22888-22938, 29 May 1992; Guidelines for Reproductive Toxicity Risk Assessment; Notice. Federal Register 61:56274-56322, 31 October 1996.

6.5 Kalzium-Homöostase (Kalzium Signalsystem)

Die Kalzium-Homöostase, d.h. die Aufrechterhaltung einer gleichmäßigen Kalziumkonzentration in der Zelle, ist für die Regulierung zellulärer Prozesse von großer Bedeutung. Eine sprunghafte und reversible Erhöhung des intrazellulären Kalziumgehaltes ist ein Indikator für die Aktivität eines zellulären Informationssystems, das zu vielfältigen Folgeerscheinungen führen kann („*second messenger*“).

Sollten Zellaktivitäten durch hochfrequente EMF beeinflusst werden, so ist zu erwarten, dass dieses Informationssystem anspricht. Insofern können Untersuchungen zur Kalzium-Homöostase Aufschluss über die biologische Wirksamkeit hochfrequenter EMF geben.

Auswahl der Untersuchungen

In den vier Gutachten wurden insgesamt 21 Arbeiten berücksichtigt. Allerdings ist die gemeinsame Schnittmenge der Untersuchungen sehr gering, so dass es keine Untersuchung gibt, die in allen vier Gutachten und nur eine Studie, die in drei Gutachten zitiert wird (siehe Tabelle B8 in Anhang B). Sechs der zitierten Studien beziehen sich auf den niederfrequenten Bereich und sind für hochfrequente elektromagnetische Felder nicht aussagekräftig.

Einschätzung der Befundlage in den Gutachten

Alle vier Gutachten stimmen darin überein, dass es positive und negative Befunde zu einem Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Kalzium-Signalsystem gibt. Nach Einschätzung von Küppers können adverse (d.h. gesundheitsschädliche) Effekte zum jetzigen Zeitpunkt weder ausgeschlossen noch eindeutig belegt werden. Silny verweist auf die fehlende Replikation von Befunden. Während das Öko-Institut und Silny noch Forschungsbedarf mit Hilfe neuerer und sensitiverer Methoden sehen, vertritt Glaser in seinem Gutachten die Ansicht, dass die früheren positiven Studienergebnisse durch neuere Arbeiten mit besserer Methodik nicht repliziert werden konnten. Für Ecolog reichen die positiven Befunde aus, um von konsistenten Hinweisen zu sprechen.

Diskussion

Als beratender Experte nahm Prof. Dr. Stalla vom Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München teil.

Bei der Beurteilung des wissenschaftlichen Erkenntnisstands zur Wirkung von elektromagnetischen Feldern auf die Kalzium-Homöostase wurde in der Diskussion sehr deutlich die Unterscheidung zwischen hoch- und niederfrequenten Feldern betont. Studien, die im niederfrequenten Bereich durchge-

führt wurden, sind nach Auffassung der Gutachter wegen der völlig anderen Mechanismen der Wechselwirkung für die Beurteilung der Wirkung von HF-Feldern ungeeignet.

Glaser wies darauf hin, dass die in älteren Studien (z. B. Bawin et al. 1978) gefundenen Effekte durch die neuere und mit verbesserter Methodik durchgeführte Forschung nicht bestätigt werden konnte. Basierend auf eigenen langjährigen experimentellen Erfahrungen erläuterte er eine Reihe von Störvariablen (insbesondere die UV-Wirkung bei fluoreszenzoptischem Kalzium-Nachweis), die in früheren Arbeiten nicht berücksichtigt wurden. Diese Besonderheit erklärt – nach Glaser – auch die Probleme bei der Replikation von Studienergebnissen. Nach seiner Einschätzung ist das Thema „Kalzium-Homöostase“ inzwischen hinreichend erforscht, ohne dass sich Hinweise auf einen Effekt oder gar dessen Nachweis ergeben hätten.

Diese Einschätzung wurde von Küppers und Neitzke nicht geteilt, die beide wegen der unklaren Befundlage weiteren Forschungsbedarf sehen. Neitzke verwies darauf, dass neben den älteren, positiven Arbeiten, auch die neuere Untersuchung von Wolke et al. (1996) einen Effekt hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Kalzium-System zeigt.

Kasten 8: Diskutierte Schlüsselarbeiten Kalzium Homöostase

Wolke et al. (1996) untersuchen den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die intrazelluläre Kalziumkonzentration ($[Ca^{2+}]_i$) von isolierten Herzmuskelzellen (Myozyten) von Meerschweinchen während einer Exposition mit modulierten hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Die einzelnen Experimente beinhalteten drei Phasen mit einer Dauer von 500 Sekunden: In der 1. Phase erfolgte weder eine Feldapplikation noch eine chemische Stimulation; in der 2. Phase erfolgte die Feldexposition und in der 3. Phase wurden die Zellen chemisch stimuliert im Sinne einer positiven Kontrolle. Drei Hauptparameter wurden variiert: die Trägerfrequenz (900, 1300, 1800 MHz), die Modulationsfrequenz (kontinuierlich, 16 Hz, 50 Hz, 217 Hz, 30 kHz) und das Membranpotential (Repolarisation bis -80 mV). In gleicher Weise wurde auch eine Scheinexposition der Zellen durchgeführt, d.h. die Zellen wurden in gleicher Weise behandelt wie die exponierten Zellen, aber selbst nicht befeldet. Während sich für die meisten Parameterkombinationen kein Effekt nachweisen ließ, ergab sich für die Kombination von 900 MHz/50 Hz mit einer spezifischen Absorptionsrate zwischen 0.01 und 0.034 W/kg ein zwar kleiner, aber statistisch signifikanter Effekt, der allerdings von den Autoren als nicht relevant eingeschätzt wird.³² Entsprechend halten sie einen Einfluss von gepulsten hochfrequenten Feldern (900 und 1800 MHz) auf Herzmuskelzellen für wenig wahrscheinlich.

Eine weitere Arbeit mit jüngerem Datum ist Meyer et al. (1995), die im Versuchsaufbau der Wolke-Studie sehr ähnlich ist. Hier konnte keine Wirkung der hochfrequenten Felder auf T-Lymphozyten und Herzmuskelzellen des Meerschweinchens beobachtet werden. Allerdings ließ sich in diesem Experiment die Reaktionsfähigkeit der Lymphozyten im Experiment nicht aufzeigen, so dass offen bleibt, ob der nicht gefundene Einfluss der hochfrequenten elektromagnetischen Felder nicht auf deren mangelnde Reaktionsfähigkeit zurückgeführt werden kann.

³² Die Autoren bewerten die Differenz als nicht relevant, weil die Durchschnittswerte der exponierten Zellen immer noch im Bereich einer Standardabweichung der scheinexponierten Zellen liegt und weil die Differenz sehr klein ist (sie geht gegen Null).

Dabei sah Neitzke in der von Wolke et al. selbst vorgenommenen Relativierung ihrer Forschungsergebnisse ein „Weg-Interpretieren“ eines statistisch abgesicherten Befundes. Diese Sichtweise führte zu einer kontroversen Diskussion zwischen den Gutachtern. Insbesondere Glaser mahnte hier zur Vorsicht, Einschätzungen und Bewertungen, die die Autoren in Kenntnis aller Untersuchungsdetails vorgenommen haben, in Frage zu stellen.

Als beratender Experte kam Stalla zu der Einschätzung, dass aufgrund der widersprüchlichen Datenlage kaum Schlussfolgerungen möglich sind. In seiner schriftlichen Stellungnahme schreibt er „Aus heutiger Sicht scheinen mobilfunk-relevante elektromagnetische Felder unter den gegebenen Grenzwerten keine Veränderungen der Kalziumhomöostase zu induzieren, die die Gesundheit des Menschen beeinträchtigen könnten“ (S.6). Ergänzend erwähnte Stalla, dass von medizinischer Seite her kein Krankheitsbild bekannt ist, bei dem der Ca^{2+} -Efflux gestört ist. Allerdings sah Stalla hier noch Forschungsbedarf mit neuen, sensitiveren Methoden.³³

Unabhängig von diesen noch offenen Fragen ist nach Einschätzung der Gutachter und des beratenden Experten nach dem heutigen Erkenntnisstand von keinem Einfluss auf das Kalzium-System der Zelle auszugehen, der eine gesundheitliche Relevanz hätte.

Analyse der Argumente und Bewertungslogiken

Im weiteren werden die Pro- und Kontra-Argumente, die in der Diskussion und in den Gutachten zu finden waren, von uns zusammengefasst und systematisiert. Als Pro-Argument fassen wir alle Argumente auf, die genutzt werden, um auf ein gesundheitliches Risiko beim Menschen hinzuweisen. Als Kontra-Argument, betrachten wir alle Argumente, die gegen einen solchen Verdacht sprechen. Diese Zusammenfassung der Argumente wurde mit den Gutachtern im Abschlussworkshop abgestimmt. Abschließend geben die vier Gutachter dann ihre Einschätzung der Pro- und Kontra-Argumente.

Pro	Kontra
Es gibt Untersuchungen, die Effekte zeigen.	Befundlage ist uneinheitlich. Ältere Befunde konnten mit sensibleren Methoden nicht bestätigt werden.

Das Pro-Argument verweist darauf, dass sich in früheren Untersuchungen ein Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Kalzium-Signalsystem gezeigt hat. Das Kontra-Argument hält dagegen, dass es sowohl positive wie negative Befunde gibt, wobei die positiven Ergebnisse aus älteren Studien durch neuere Arbeiten mit sensiblerer Methodik nicht bestätigt werden konnten.

³³ Siehe dazu auch die schriftliche Stellungnahme von Prof. Stalla, die in Anhang A angefügt ist.

Gewichtungen der Pro- und Kontra-Argumente durch die Gutacher

- Glaser: Jahrelange eigene Messungen ohne nachweisliche Resultate unterstreichen die Bedeutung des Kontra-Argumentes 2. Inzwischen wurde durch neue Untersuchungen bestätigt, dass bei zuverlässiger Messung keine Effekte zu finden sind (Cranfield et al. Intern. J. Radiat. Biol. 77,1207-17. 2001).
- Küppers: Die Kontra-Argumente haben größeres Gewicht. Der Ca^{2+} -Efflux ist offenbar ein sensibler Parameter, bei dem sowohl Mechanismen als auch Auswirkungen weiter geklärt werden müssen, bevor Schlussfolgerungen im Hinblick auf gesundheitliche Auswirkungen des Mobilfunks gezogen werden können.
- Neitzke: Die vorliegenden Befunde sind als Hinweise darauf zu werten, dass gepulste hochfrequente elektromagnetische Felder möglicherweise in elementare zelluläre Steuerungsprozesse eingreifen. Angesichts der Bedeutung, die ein solcher Befund für die Aufklärung der Wirkungsmechanismen elektromagnetischer Felder im Organismus hätte, sind unbedingt weitere Untersuchungen notwendig.
- Silny: Die Kontra-Argumente geben die Sachlage korrekter als die eine allgemeine Feststellung des Pro-Arguments wieder. Die in den achtziger Jahren durchgeführten Untersuchungen konnten später nicht, auch nicht mit neueren und besseren Techniken, reproduziert werden. Die Problematik des EMF-Einflusses auf den Kalziumhaushalt ist inzwischen wissenschaftlich uninteressant geworden, was sich auch in Publikationen und Vorträgen bemerkbar macht.

6.6 Stresshormone

Hormone sind Substanzen, die von den endokrinen Drüsen oder drüsenähnlichen Zellen zur Informationsübermittlung freigesetzt werden. Als typische Hormone, die in Stressreaktionen des Körpers involviert sind, können z. B. adrenocorticotrope Hormone (ACTH), Cortisol oder Adrenalin genannt werden. Sollte die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern eine andauernde Ausschüttung von Stresshormonen verursachen, so könnte dies zu einer Schwächung des Immunsystems beitragen.

Auswahl der Untersuchungen

In den vier Gutachten werden zu diesem Themenfeld unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt. Während Glaser und Ecolog in ihren Gutachten Arbeiten zur Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf den

Haushalt verschiedener Hormone eingehen, bezieht sich das Öko-Institut ausschließlich auf Untersuchungen zu Melatonin. Silny berücksichtigt neben Melatonin vor allem Arbeiten, welche die Wirkung von elektromagnetischen Feldern auf Neurotransmitter untersucht haben.

Betrachtet werden dabei sowohl Untersuchungen am Menschen wie an Tieren. In den Gutachten werden elf Arbeiten behandelt, die in Tabelle B9 in Anhang B wiedergegeben sind. Bedingt durch die unterschiedlichen Schwerpunkte wurde nur eine Studie am Menschen (Mann et al. 1998) in drei Gutachten (Glaser, Ecolog, Silny) aufgeführt. In jeweils zwei Gutachten werden zwei Studien am Menschen (De Seze 1998; De Seze et al. 1999) und vier Studien an Tieren (Toler 1988; Chou 1992; Vollrath et al. 1997; Heikkinen 1999) genannt. Ebenfalls berücksichtigt wurden zwei Studien im niederfrequenten Bereich (Reiter et al. 1998; Rosen et al. 1998).

Einschätzung der Befundlage in den Gutachten

Wegen der unterschiedlichen Schwerpunkte gelten die Aussagen der Gutachten nur für die jeweils betrachteten Bereiche und können nicht auf Stresshormone insgesamt bezogen werden.

Die Gutachter Glaser, Küppers und Silny stimmen darin überein, dass es keine Belege für eine gesundheitliche Beeinflussung gibt. Ecolog wertet die gefundenen Effekte als möglicherweise gesundheitsrelevant – gestützt auf das Argument, dass die Ausschüttung von Stresshormonen als Dauerzustand zu einer Schwächung des Immunsystems führen kann.

Diskussion

Beratender Experte für dieses Thema war Prof. Dr. Stalla vom Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München.

Im Mittelpunkt der Diskussion standen die Arbeiten am Menschen von Mann et al. (1998) und De Seze et al. (1998).

Kasten 9: Diskutierte Schlüsselarbeiten Stresshormone

Bei Mann et al. (1998) werden während des Schlafes bei 22 jungen, gesunden Männern unter Feldexposition (900 MHz / 217 Hz, SAR = 0.2 W/kg) und Placebo folgende Parameter gemessen: Melatonin, Cortisol, Luteinisierendes Hormon (LH) und Wachstumshormon (GH). Es konnten für GH, LH und Melatonin keine signifikanten Effekte unter Exposition gefunden werden. Eine signifikante Erhöhung wurde für die hypothalamische-hypophyse-adrenale Regelkreisaktivität mit einem leichten, vorübergehenden Anstieg der Cortisol Konzentration im Serum während 23 bis 0 Uhr und 6 bis 7 Uhr gefunden, die von den Autoren als klinisch nicht relevant eingestuft wird, da diese erhöhte Konzentration sich in dem Bereich bewegte, der auch bei anderen Stressoren gefunden wird, und sich die Erhöhung im weiteren Schlafverlauf wieder normalen Werten anpasste.

In der Studie von De Seze et al. (1998) werden die Auswirkungen einer Mobilfunkexposition (900 MHz / 217 Hz) auf die Hormonsekretion an 18 gesunden Männern untersucht. Die Pro-

banden wurden während vier Wochen (fünf Tage pro Woche) für zwei Stunden pro Tag der Strahlung von handelsüblichen Mobiltelefonen ausgesetzt. Die untersuchten Parameter im Blutserum waren: Adrenocorticotropin (ACTH), Thyrotropin (TSH), Wachstumshormon (GH), Prolaktin (PRL), lutenisierendes Hormon (LH) und Follikelstimulierendes Hormon (FSH). Für TSH ergab sich eine signifikante Verminderung von 21% in der vierten Woche, die jedoch reversibel war. Die Autoren folgern, dass es keinen andauernden oder kumulativen Effekt hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobiltelefonen auf die Hormonsekretion des Hypophysenvorderlappens gibt.

Imaida et al. (1998a,b) untersuchen neben dem Einfluss von elektromagnetischen Feldern auf die Förderung von Leberkrebs bei der Ratte auch die Hormone ACTH, Corticosteron und Melatonin. In beiden Studien wurde mit pulsmodulierten Feldern gearbeitet: 929.2 MHz (Imaida et al. 1998a) und 1.5 GHz (Imaida et al. 1998b). In beiden Studien wurden 48 Ratten während 6 Wochen an jeweils fünf Tagen pro Woche für 90 Minuten täglich dem Feld ausgesetzt. Weitere 48 Ratten wurden scheinexponiert und 24 Ratten dienten als Kontrolle. Es konnte in beiden Studien keine Unterschiede bei der Leber-Kanzerogenese bei Ratten festgestellt werden. Sowohl bei den exponierten wie auch scheinexponierten Gruppen wurde jedoch eine Gewichtsabnahme – verglichen mit der Kontrolle – festgestellt. Diese wurde von den Autoren als Zeichen für physiologischen Stress aufgrund der Testanordnung und nicht aufgrund der Befeldung gewertet. In der ersten Studie (1998a) konnte im Blutserum ein Anstieg von ACTH und Corticosteronen sowohl in der exponierten wie auch in der scheinexponierten Gruppe gefunden werden, wobei die exponierte Gruppe signifikant höhere Werte aufwies. Die Autoren verweisen hier auf einen möglichen Einfluss des Feldes. Ebenfalls könnte aber eine Erhöhung der Körpertemperatur für diesen Effekt verantwortlich sein. Um dies auszuschließen, wurde bei der 1.5 GHz-Befeldung mit einem verbesserten Luftventilationssystem gearbeitet. Dies ist wahrscheinlich der Grund, warum ein Anstieg von ACTH und Corticosteron nur in der exponierten Gruppe beobachtet werden konnte, während in der scheinexponierten Gruppe geringere Konzentrationen als in der Kontrolle gefunden wurden. Da in der exponierten Gruppe eine Gewichtszunahme der Nebennieren beobachtet werden konnte, folgern die Autoren in der zweiten Studie, dass es einen Einfluss von EMF auf den Hormonstatus gibt. In Bezug auf den Melatonin-Rhythmus wurde eine nicht erwartete Zunahme bei EMF-Exposition gefunden, obwohl die Hypothese einer Verminderung geprüft werden sollte. Nach Ansicht der Autoren müssen diese z.T. widersprüchlichen Effekte bzgl. ACTH, Corticosteron und Melatonin in neuen Studien geklärt werden. Angesichts dieser widersprüchlichen Ergebnisse betonen die Autoren in der ersten Studie (1998a) den weiteren Forschungsbedarf.

Im Gegensatz zu Glaser und Silny, die die Einschätzung von Mann et al. teilen, und keine klinische Relevanz sehen konnten, sah Neitzke in den Ergebnissen der Studie einen systematischen Unterschied zwischen Exponierten und Nicht-Exponierten sowohl für das Wachstumshormon wie auch für Cortisol, die allerdings nur bei Cortisol statistische Signifikanz erreicht.

Neitzke machte im Zusammenhang mit dem Befund einer reversiblen Verminderung von TSH in der Studie von De Seze (1998) darauf aufmerksam, dass in dieser Untersuchung zwei andere Parameter, ACTH und PRL, einen zwar statistisch nicht signifikanten, aber trotzdem auffällig synchronen Verlauf haben, der möglicherweise eine vorübergehende Stress-Reaktion abbilden könnte. Insofern gibt die De Seze Studie nach Einschätzung von Ecolog wichtige Hinweise auf einen Einfluss von EMF auf das Hormonsystem.

Stalla wies, auf das synchrone Verhalten von TSH, ACTH und PRL in der Studie von De Seze angesprochen, auf die Bedeutung hin, den ein solcher Befund hätte. Er erläuterte, dass ACTH als Regulator der Cortisolsekretion (dies ist das eigentliche Stresshormon) und Prolaktin, dessen physiologische Bedeutung beim Menschen noch nicht vollständig geklärt ist, Hormone sind,

die bei einer physischen und/oder psychischen Belastung ansteigen können. Prolaktin wird vorwiegend inhibitorisch reguliert durch den hypothalamischen Neurotransmitter Dopamin, ACTH stimulierend durch CRH und TSH durch TRH. Dopamin hat allerdings auch einen schwachen inhibitorischen Effekt auf ACTH und TSH. Das bedeutet auch nach Einschätzung von Stalla, dass zumindest hypothetisch die gleichsinnige Antwort auf einen „Reiz“ – die hochfrequenten elektromagnetischen Felder in der De Seze Studie – eine gemeinsame Ursache in der Verminderung des hypothalamischen Dopamins haben könnte.

Auch Silny hält die De Seze Studie für wichtig, weist aber auf die nach seiner Einschätzung nicht ganz befriedigende Durchführung der Studie hin, so dass weiterer Forschungsbedarf besteht. Zur gleichen Bewertung kommt auch Stalla in seiner Stellungnahme: Obwohl Frequenzbereich und die Untersuchungsbedingungen der Studie von De Seze als adäquat bewertet werden können, ist die Belastbarkeit der Ergebnisse gering, da die Studie weder doppelblind noch placebokontrolliert durchgeführt wurde. So können für die Ergebnisse viele andere Ursachen wie z. B. Studiensetting verantwortlich sein. Dies müsste in zukünftigen Studien kontrolliert werden.

Bei den Tierstudien wurde die Arbeit von Imaida (1998a,b) diskutiert. Hier verwies Neitzke auf die statistisch signifikante Zunahme der Konzentrationen von ACTH und Corticosteron.

Angesichts der sehr unterschiedlichen Ergebnisse in den verschiedenen Studien wurde im Workshop auch die Aussagekraft von Stresshormonen für eine – möglicherweise gesundheitsschädigende – Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder diskutiert. Der beratende Experte Stalla verwies in diesem Zusammenhang sowohl in der Diskussion wie in seiner schriftlichen Stellungnahme auf die methodischen Mängel verschiedener Studien und unterstrich die Notwendigkeit weiterer Forschung im relevanten Frequenzbereich. Diese Ansicht wurde von allen vier Gutachtern geteilt.

Die Gutachter und Stalla kamen zu der Einschätzung, dass Untersuchungen an Stresshormonen eine hohe Sensibilität, aber geringe Spezifität haben. Das heißt, Stresshormone bzw. das endokrine System reagieren sehr empfindlich auf (externe) Stimuli. Es ist deshalb schwer, solche Reaktionen einem bestimmten Stimulus kausal zuzuschreiben. Nach Ansicht von Stalla kann zwar – wenn alle relevanten experimentellen Parameter kontrolliert werden können – grundsätzlich herausgearbeitet werden, ob hochfrequente elektromagnetische Felder zu einer Veränderung von Hormonen führen, die für die physiologische Adaptation des Organismus auf Stress verantwortlich sind. Ob dies auf Dauer gesundheitliche Probleme macht, ist nach seiner Einschätzung zwar denkbar, aber spekulativ.

Ungeachtet dieser methodischen Schwierigkeiten und des bestehenden Forschungsbedarfs weist Stalla darauf hin, dass sich aus einigen der in den Untersuchungen (etwa De Seze 1998) gefundenen hormonellen Veränderungen zumindest theoretisch Gesundheitsrisiken für Personen mit bestehenden Er-

krankungen der Hypothalamus-Hypophyse-Schilddrüse-Achse ergeben könnten, wobei auch hier noch Forschungsbedarf besteht.

Analyse der Argumente und Bewertungslogiken

Im weiteren werden die Pro- und Kontra-Argumente, die in der Diskussion und in den Gutachten zu finden waren, von uns zusammengefasst und systematisiert. Als Pro-Argument fassen wir alle Argumente auf, die genutzt werden, um auf ein gesundheitliches Risiko beim Menschen hinzuweisen. Als Kontra-Argument, betrachten wir alle Argumente, die gegen einen solchen Verdacht sprechen. Diese Zusammenfassung der Argumente wurde mit den Gutachtern im Abschlussworkshop abgestimmt. Abschließend geben die vier Gutachter dann ihre Einschätzung der Pro- und Kontra-Argumente.

Pro	Kontra
Es gibt Untersuchungen, die statistisch signifikante Effekte zeigen.	Die Befundlage ist uneinheitlich.
Es gibt Befunde, die zwar nicht statistisch signifikant sind, aber auffällig sind und auf eine vorübergehende Stress-Reaktion verweisen könnten.	Klinische Relevanz der Befunde ist unklar.
Es gibt die theoretische Möglichkeit, dass für bestimmte Personengruppen Gesundheitsrisiken bestehen.	Untersuchung an Stresshormonen ist sehr fehleranfällig – Falsch positive Resultate sind wahrscheinlich.

Das Pro-Argument stützt sich zum einen auf Experimente am Menschen, in denen entweder statistisch signifikante oder zwar nicht signifikante, aber trotzdem als auffällig beurteilte Unterschiede zwischen exponierten und nicht exponierten Gruppen gefunden wurden. Diese verweisen auf einen Einfluss von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf die Ausschüttung von Stresshormonen. Der Einwand, dass die in der Studie von Mann et al. gefundene Erhöhung nach Einschätzung der Autoren selbst klinisch irrelevant sei, wird zurückgewiesen, da dies den gefundenen Einfluss von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf den Menschen nicht in Frage stellt. Es wird auch argumentiert, dass Veränderungen in der Konzentration bei mehreren Stresshormonen unter Befeldung (in der Studie von De Seze et al.), die zwar statistisch nicht signifikant sind, aber trotzdem einen auffälligen, zeitlich parallelen Verlauf zeigen, sehr wohl als Hinweis auf einen Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder interpretiert werden können, zumal es hierzu mit der vermittelnden Wirkung von Dopamin eine – wenn auch noch hypothetische – Erklärung gibt. Hier kommt wieder die schon oben erörterte Einschätzung zum Tragen (siehe auch Kapitel 7), dass nicht nur statistisch signifikante Befunde zur Evidenzbewertung herangezogen werden können. Zum anderen werden die Ergebnisse von Tierexperimenten angeführt, in denen sich ebenfalls erhöhte Konzentrationen von Stresshormonen unter EMF-Exposition gezeigt haben.

Die Kontra-Argumentation weist zunächst darauf hin, dass den wenigen signifikanten Befunden andere, nicht signifikante und negative Ergebnisse gegenüberstehen, so dass die Befundlage insgesamt als uneinheitlich zu bewerten ist. Außerdem wird die Belastbarkeit der positiven Befunde wegen methodischer Probleme bezweifelt. Vor einer Nutzung der Forschungsergebnisse sollten die Befunde deshalb in weiteren Untersuchungen überprüft werden.

Vor allem aber wird in der Kontra-Argumentation darauf verwiesen, dass Stresshormone sehr empfindlich auf externe Stimuli reagieren. Das heißt, dass selbst in Experimenten der Einfluss von Störfaktoren nur schwer kontrolliert werden kann. Die Interpretation von positiven Befunden im Sinne eines Kausalzusammenhangs ist deshalb – zumindest für die hier betrachteten Untersuchungen – problematisch.

Gewichtungen der Pro- und Kontra-Argumente durch die Gutacher

- Glaser: Es überwiegen eindeutig die Kontra-Argumente. Insbesondere das 3. Argument bezüglich der Fehleranfälligkeit ist stichhaltig. Zumeist werden Effekte als „nicht-thermisch“ bezeichnet, wenn im Gesamt-System keine Temperaturerhöhung messbar ist. Mögliche lokale Erwärmungen bleiben unberücksichtigt. Seit der Anfertigung der Studie ist keine Arbeit erschienen, welche die dort getroffene Einschätzung modifizieren würde.
- Küppers: Die Kontra-Argumente sind insgesamt überzeugender. Insbesondere die Beeinflussbarkeit des Parameters durch verschiedenste Einwirkungen, aber auch die unklare klinische Relevanz, machen weitere Untersuchungen erforderlich, bevor belastbare Schlussfolgerungen gezogen werden können.
- Neitzke: Die vorliegenden Untersuchungen sind als konsistente Hinweise auf eine Beeinflussung den Stress-Hormon-Haushalt, sowohl beim Menschen wie beim Tier, zu werten. Gesundheitliche Beeinträchtigungen infolge eines durch Stress geschwächten Immunsystems sind insbesondere bei chronischen Expositionen nicht auszuschließen.
- Silny: Nur die Kontra-Argumente sind überzeugend. Die bisherigen wenig gesicherten Ergebnisse aus initialen Studien können nicht als Argument für eine potentielle Gefahr der Mobilfunkfelder herangezogen werden.

6.7 Chromosomen-Mutationen / DNA-Brüche und Zellproliferation

Die vier spezifischen Aspekte dieses Themenfeldes – DNA-Brüche, Induktion von Mikrokernen, Chromosomenaberrationen und Zellproliferation – werden in den Gutachten zum Teil getrennt, zum Teil gemeinsam behandelt. In der Diskussion wurden die einzelnen Aspekte gesondert abgehandelt.

Auswahl der Untersuchungen

Insgesamt wurden zu den vier Aspekten in den Gutachten 61 Arbeiten zitiert, die in Tabelle B10 in Anhang B aufgeführt sind. Während fünf Studien (Lai & Singh 1995; Maes et al. 1993, 1995, 1997; Stagg et al. 1997) in allen Gutachten genannt wurden, fand die Hälfte der Studien nur je in einem Gutachten Berücksichtigung.

Einschätzung der Befundlage in den Gutachten

Aufgrund einer unterschiedlichen Gewichtung einzelner Aspekte geben Glaser und Öko-Institut in ihren Gutachten eine zusammenfassende Beurteilung für DNA-Brüche, Induktion von Mikrokernen und Chromosomenaberrationen. Ecolog und Silny behandeln diese drei Aspekte getrennt. Die Zellproliferation wird in allen vier Gutachten getrennt beurteilt.

Für drei Gutachter (Glaser, Öko-Institut, Silny) bilden die Ergebnisse bei allen gentoxischen Parametern (DNA-Brüche, Induktion von Mikrokernen und Chromosomenaberrationen) ein inkonsistentes Bild. Einzelne Untersuchungen finden einen Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die untersuchten Parameter, andere nicht. Außerdem sind positive Befunde bislang nicht repliziert worden.

Vom Ecolog-Institut werden die vorliegenden Befunde aus Untersuchungen am Menschen, Experimenten mit Tieren und an Zellkulturen als konsistente Hinweise auf eine gentoxische Wirkung der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks gewertet.

In bezug auf die Zellproliferation sehen Glaser und das Öko-Institut sowohl positive als auch negative Befunde, während Silny und Ecolog von einem nachgewiesenen Einfluss von EMF auf die Zellproliferation ausgehen.

Diskussion

Als beratender Experte nahm Dr. Görlitz vom Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Aerosolforschung in Hannover teil.

In der Diskussion spielten methodische Schwierigkeiten bei Untersuchung zur Induktion von Strangbrüchen eine wichtige Rolle. Hier wurde vor allem die Arbeit von Lai & Singh (1995) kontrovers diskutiert, in der vermehrt DNA-Strangbrüche unter EMF Exposition gefunden wurden.

Kasten 9: Diskutierte Schlüsselarbeiten DNA-Brüche / Mikrokerne

In zwei Experimenten untersuchen Lai und Singh (1995) DNA-Einzelstrangbrüche bei Spargue-Dawley-Ratten nach einer EMF-Exposition. Im ersten Experiment mit pulsmoduliertem 2450 MHz Feld betrug die gemittelte Leistungsdichte 1 bzw. 2 mW/cm² und die SAR

0.6 bzw. 1.2 W/kg. Untersucht wurden 27 Ratten (8 Ratten wurden mit einer SAR von 0.6 W/kg und 8 Ratten mit einer SAR von 1.2 W/kg jeweils zwei Stunden bestrahlt; 11 Ratten wurden scheinexponiert). Sofort bzw. vier Stunden nach der Exposition wurde die Anzahl der einzelnen DNA-Brüche im Hippocampus und im restlichen Gehirn bestimmt. Die benutzte Methode war der „Alkaline Comet-Assay“. Es wurde eine signifikante Erhöhung der Anzahl der Einzelstrangbrüche nach vier Stunden sowohl im Hippocampus als auch im Gehirn gefunden. Für die Zeit direkt nach der Exposition ergab sich keine Erhöhung. Im zweiten Experiment wurden die Ratten einem 2450 MHz Feld mit kontinuierlichen Wellen für zwei Stunden ausgesetzt. Die gemittelte Leistungsdichte war 2 W/cm² und die SAR 1.2 W/kg. Es konnte ein signifikanter Anstieg sowohl unmittelbar nach der Exposition als auch mit vier Stunden Verzögerung im gesamten Gehirn festgestellt werden.

Die Studie von Malyapa et al. (1998, die eine Replikation der Arbeit von Lai & Singh (1998) darstellt, zeigt zum einen, dass schon die Art der Tötung der Tiere allein DNA-Brüche bewirken kann. Zum anderen wurden in dieser Untersuchung keine vermehrten DNA-Brüche nach einer Befeldung gefunden, das heißt, die Befunde von Lai & Singh (1995) wurden nicht bestätigt.

Von der Arbeitsgruppe Garaj-Vrohovac et al. (1999) liegt eine Studie zur Mikrokerninduktion vor. Es handelt sich dabei um eine in vivo Untersuchung der Lymphozyten von 12 exponierten Arbeitern von Radiostationen (10 µW/cm² – 20 mW/cm², Frequenzbereich 1250-1350 MHz), in der eine Zunahme der Mikronuklei festgestellt wurde. Eine in vivo Studie an Mäusen von Vijayalaxmi et al. (1997) fand zwar ebenfalls eine statistisch signifikante Zunahme von Mikronuklei unter Exposition mit einem 2450 MHz Feld im Vergleich zur Scheinexposition. Allerdings muss nach Einschätzung der Autoren für die Beurteilung der biologischen Bedeutung dieses Befundes berücksichtigt werden, dass diese Zunahme bei einer großen Zahl von Tieren und in einem langen Befeldungszeitraum (18 Monate) nur sehr gering war (0.05 %). Darüber hinaus konnte kein Zusammenhang zwischen der Zunahme der Mikronuklei und der ebenfalls untersuchten Kanzerogenese bei den Mäusen festgestellt werden. Schließlich weisen die Autoren darauf hin, dass die Häufigkeiten der Mikrokerninduktion sowohl für die exponierten wie die scheinexponierten Tiere im Bereich der spontanen Auftretenshäufigkeiten von Mikronuklei liegen, die in der Literatur berichtet werden.³⁴

In der Diskussion stellte Glaser die Frage, warum DNA-Brüche bei Lai & Singh (1995) nicht sofort, sondern erst nach vier Stunden festgestellt worden waren. Auch für den beratenden Experten Görlitz³⁵ ist dies erklärungsbedürftig, und er verweist auf ein mögliches methodisches Problem der Untersuchung von Lai & Singh. Görlitz erläuterte, dass aus Untersuchungen mit ionisierenden Strahlen bekannt ist, dass Schäden normalerweise rasch (bereits innerhalb von vier Stunden) und vollständig repariert werden. Nach seiner Einschätzung ist davon auszugehen, dass auch mögliche Strangbrüche durch elektromagnetische Felder im nicht-ionisierenden Bereich rasch und effektiv repariert werden. Görlitz bemerkte, dass DNA-Strangbrüche ein sehr empfindlicher Parameter sind. Sie können schon durch die Anwendung ungeeigneter Methoden der Zellpräparation entstehen.

Görlitz wies auch darauf hin, dass die biologische Bedeutung von DNA-Strangbrüchen unklar ist, da diese zum Beispiel auch bei sportlichen Aktivi-

³⁴ Diese Einschätzung geben die Autoren in einem Erratum (Vijayalaxmi et al. 1998), in dem der in der ursprünglichen Veröffentlichung berichtete nichtsignifikante Befund als statistisch signifikant korrigiert wurde. Der Hinweis auf dieses Erratum wurde von Herrn Neitzke gegeben.

³⁵ Siehe dazu auch die schriftliche Stellungnahme von Dr. Görlitz, die in Anhang A angefügt ist.

täten wie Laufen etc. auftreten und vom Körper meist effektiv repariert werden. Aus diesem Grund und wegen der genannten methodischen Probleme ist nach Einschätzung von Görlitz die gesundheitliche Relevanz von Untersuchungen, in denen DNA-Strangbrüche gefunden werden, gering. Diese Einschätzung wurde von den vier Gutachtern nicht widersprochen.

Für die Untersuchungen zur Zellproliferation erläuterte Görlitz, dass auch bei der Untersuchung dieses Parameters methodische Probleme bestehen, die eine eindeutige Interpretation von Ergebnissen erschweren.³⁶ Er wies in diesem Zusammenhang darauf hin, dass eine erhöhte Thymidinaufnahme auch bei der sogenannten unplanmäßigen DNA-Synthese auftreten kann, die nicht mit einer erhöhten Zellvermehrung einhergeht. Ein weiterer Grund für die widersprüchlichen Ergebnisse können nach Görlitz auch Unterschiede in der Methodik der Befeldung sein. Aus diesen Gründen wurden von Görlitz die Untersuchungen zur Zellproliferation als wenig aussagekräftig für die Risikobewertung eingeschätzt. Die Gutachter folgten dieser Einschätzung des beratenden Experten.

Besondere Bedeutung für die Abschätzung möglicher gesundheitsrelevanter Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder kommt nach Einschätzung von Görlitz – und dieser Einschätzung schlossen sich die vier Gutachter in der Diskussion an – der Induktion von Mikrokernen und der Chromosomenaberrationen zu, da Schäden hier in somatischen Zellen und Keimbahnzellen vererbt werden könnten. Er wies in diesem Zusammenhang darauf hin, dass potentielle Arzneimittel, die Mikrokerne oder Chromosomenaberrationen induzieren, bis auf wenige Ausnahmen nicht zugelassen werden. Allerdings ist die Befundlage auch zu diesen Parametern inkonsistent: Es gibt positive wie auch negative Ergebnisse, beide beziehen sich hauptsächlich auf in vitro Studien. Bei den Mikrokern-Untersuchungen mit positiven Ergebnissen ergibt sich nach Görlitz das zusätzliche Problem, dass aus diesen Untersuchungen nicht zu entnehmen sei, „ob die Mikrokerne Folge einer Mutation sind oder einer Störung des Spindelapparates sein könnten“ (schriftliche Stellungnahme Görlitz, siehe Anhang A, S. 26).

In diesem Zusammenhang wurde im Workshop die Übertragbarkeit von in vitro Ergebnissen auf den Menschen diskutiert. Hier besteht das Problem, dass Zellkulturen gegenüber einem komplexen Organismus relativ einfache Systeme sind und deshalb nur sehr beschränkt als Modell für Zellprozesse beim Menschen herangezogen werden können. Ergebnisse solcher in vitro Untersuchungen sind deshalb nicht direkt auf den Menschen übertragbar. Nach Meinung von Görlitz wären deshalb gerade bei Mikrokerninduktionen bzw. Chromosomenaberrationen in vivo Studien oder epidemiologische Untersuchungen sinnvoll.

³⁶ Als Messindikator für einen Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder wird hier die Aufnahme von Thymidin in der Zelle verwendet. In den verschiedenen Studien wurde sowohl eine Abnahme als auch eine Erhöhung der Thymidinaufnahme unter EMF Exposition, aber auch gar kein Einfluss der EMF Exposition gefunden.

In der Diskussion wurde auch die Möglichkeit von thermischen Effekten – besonders bei den Studien zur Zellproliferationen – durch Glaser und Silny angesprochen. Allerdings wird - nach Ansicht von Görlitz - in den meisten Veröffentlichungen der letzten Jahre auf Temperaturkonstanz bzw. -messung großen Wert gelegt. Falls nicht durch dielektrische Heterogenitäten des Materials thermische Inhomogenitäten auftreten, kann der Einfluss einer erhöhten Temperatur nicht ohne weiteres angenommen werden.

Insgesamt wird zu diesem Themenfeld von allen Gutachtern noch erheblicher Forschungsbedarf festgestellt, wobei nach Einschätzung von Görlitz zunächst einmal die einzelnen Parameter der genetischen Toxikologie auf ihre klinische Relevanz hin überprüft werden müssen.

Analyse der Argumente und Bewertungslogiken

Im weiteren werden die Pro- und Kontra-Argumente, die in der Diskussion und in den Gutachten zu finden waren, von uns zusammengefasst und systematisiert. Als Pro-Argument fassen wir alle Argumente auf, die genutzt werden, um auf ein gesundheitliches Risiko beim Menschen hinzuweisen. Als Kontra-Argument, betrachten wir alle Argumente, die gegen einen solchen Verdacht sprechen. Diese Zusammenfassung der Argumente wurde mit den Gutachtern im Abschlussworkshop abgestimmt. Abschließend geben die vier Gutachter dann ihre Einschätzung der Pro- und Kontra-Argumente.

Pro	Kontra
Einige Untersuchungen zeigen Schäden an der DNA, Einflüsse auf die DNA-Synthese und auf DNA-Reparaturmechanismen durch EMF.	Befundlage ist sehr uneinheitlich.
Einige Untersuchungen zeigen einen Einfluss von EMF auf die Induktion von Mikrokernen und auf Chromosomenaberrationen.	Untersuchungsmethodik beeinflusst Ergebnisse bei DNA-Strangbrüchen.
Makro-thermische Wirkungen sind zumindest bei den neueren Untersuchungen als Erklärung für positive Befunde unwahrscheinlich.	Befunde zur Zellproliferation sind nicht eindeutig interpretierbar.
	Indikatortests wie der Nachweis von DNA Strangbrüchen oder der DNA Reparatur (UDS-Test) unter EMF Exposition haben eine geringere Relevanz als Mutagenitätstests.
	Übertragbarkeit der in vitro Befunde zu DNA-Brüchen auf den Menschen ist problematisch.

Pro-Argumente verweisen zum einen auf positive Befunde aus Untersuchungen zu DNA-Strangbrüchen und Zellproliferation unter EMF Exposition. Hier wird als Kontra-Argument angeführt, dass es schwerwiegende methodische Probleme gibt, die die Befunde aus diesen Untersuchungen als nicht belastbar qualifizieren. Bei den Studien zu den DNA-Strangbrüchen zeigt sich, dass die Untersuchungsmethodik die Güte von Studien stark beeinflussen kann. Aufgrund dieser methodischen Empfindlichkeit und Fehleranfälligkeit von

Studien zu DNA-Brüchen und der Tatsache, dass der menschliche Körper über effiziente Reparaturmechanismen bei DNA-Brüchen verfügt, hat der Nachweis von DNA-Brüchen unter EMF Exposition nach einhelliger Meinung der Diskussionsteilnehmer keine Relevanz für eine Risikobewertung hochfrequenter elektromagnetischer Felder. Wegen der methodischen Probleme bei der Untersuchung der Zellproliferation gilt gleiches auch für diesen Parameter.

Zum anderen beziehen sich die Pro-Argumente auf die Untersuchungen, die positive Befunde zu Chromosomenaberrationen und zur Induktion von Mikrokernen unter EMF Exposition ergeben haben. Hier besteht bei den Gutachtern und dem beratenden Experten Einigkeit, dass etwaige Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Induktion von Mikrokernen und auf Chromosomenaberrationen eine hohe gesundheitliche Relevanz haben, da hier somatische Zellen bzw. Keimbahnzellen betroffen sind und deshalb etwaige Schäden bei der Zellteilung an die Folgegenerationen weitergegeben werden könnten.

Als Kontra-Argument wird hier angeführt, dass die Befundlage zu diesen beiden Parametern bislang inkonsistent ist, da sowohl positive wie negative Ergebnisse vorliegen. Das bedeutet, dass eine Reproduktion der Befunde noch aussteht. Ein weiteres Kontra-Argument verweist darauf, dass die durch in vitro-Studien an Zellkulturen gewonnenen Erkenntnisse zu DNA-Brüchen nicht ohne weiteres auf das komplexe System Mensch übertragen werden können.

Gewichtungen der Pro- und Kontra-Argumente durch die Gutacher

- Glaser: Hier liegen Pro- und Kontra-Argumente dicht beisammen. Dieses Gebiet ist deshalb in den letzten Jahren international intensiv bearbeitet worden. Beispiele: Natarajan et al., M. (Bioelectromagnetics 23, 271-277. 2002), Tice et al. (Bioelectromagnetics 23, 113-126. 2002), Maes et al. (Bioelectromagnetics 22, 91-96. 2001), Roti et al. (Radiat. Res. 155(1), 239-247, 2001). Die Ergebnisse zeigen Dominanz der Kontra-Argumente.
- Küppers: In der Abwägung überwiegen die Kontra-Argumente. Weitere Untersuchungen zur Induktion von Mikrokernen und zu Chromosomenaberrationen sind aber erforderlich, um belastbare Aussagen zu Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit machen zu können.
- Neitzke: In der überwiegenden Mehrzahl der bisher durchgeführten Untersuchungen wurden Störungen am Erbmateriale, insbesondere verschiedene Formen von Chromosomenschäden und eine Zunahme von Mikrokernen, durch elektromagnetische Felder mit Intensitäten z. T. deutlich unterhalb der thermischen Wirkungsschwellen beobachtet. Solche Schäden werden in anderen Zusammenhängen (Chemikalien, Arzneimittel) als deutliche Hinweise auf eine potentielle kanzerogene Wirkung gewertet.

- Silny: Die Kontra-Argumente geben die momentane Wissenslage korrekter wieder. Zwar stimmt es, dass in verschiedenen Publikationen aus in vitro Untersuchungen die Mobilfunkfelder mit unterschiedlichen Einflüssen auf DNA in Verbindung gebracht werden. Die Ergebnisse sind aber sehr widersprüchlich und die hin und wieder beobachteten Effekte zeigen nur schwache Abweichungen im Vergleich mit Kontrollen. Derartige Unterschiede können auch mit systematischen und zufälligen Fehlern der Untersuchungen erklärt werden. Die angewandten Untersuchungsmethoden sind diesbezüglich sehr anfällig.

7. Probleme bei der Risikobewertung und mögliche Lösungsansätze

Im folgenden werden die wesentlichen Probleme der Risikoabschätzung, auf die im vorigen Abschnitt bereits aufmerksam gemacht wurde, dargestellt und Lösungsmöglichkeiten diskutiert. Dabei soll abschließend noch einmal genauer auf das Vorsorgekonzept und sein Bezug zu Risikoabschätzung-, -bewertung und -management eingegangen werden. Denn die wesentlichen Differenzen bei der Risikobewertung in den Gutachten beziehen sich auf die Vorsorge, d.h. auf die Frage, ob es Hinweise auf Risiken gibt und deswegen Anlass zur Vorsorge besteht.

7.1 Probleme bei der Risikobewertung

Bei der Diskussion der Befundlage in den einzelnen Themenfeldern (siehe Kapitel 6.1 bis 6.7) wurde eine Reihe von Problemen bezüglich der Risikobewertung deutlich, die aus unterschiedlichen Auffassungen und Vorgehensweisen der Gutachter resultieren und die zu den beschriebenen Dissensen führen. Diese Probleme beziehen sich auf (1) die Zielstellung bei der Risikobewertung, (2) die den Gutachten zugrundeliegende Datenbasis, (3) die von den Gutachtern angelegten wissenschaftlichen Qualitätsstandards und deren Beurteilung der Aussagekraft der herangezogenen Studien, (4) die Vorgehensweise bei der Erstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes sowie (5) die zusammenfassende Risikobewertung, das heißt Risikocharakterisierung und die Risikokommunikation. Diese Probleme werden im folgenden noch einmal zusammenfassend dargestellt. Anschließend werden mögliche Lösungsansätze diskutiert.

Tabelle 5 gibt zunächst eine Übersicht zu diesen Problemen und zeigt ihren Ursprung in den Gutachterbewertungen sowie ihre Konsequenzen für die Risikobewertung. Sie sollen im weiteren genauer erörtert werden.

Tabelle 5: Probleme bei der Risikobewertung

Themenfeld	Probleme	Konsequenzen für die Risikobewertung
Zielstellung bei der Risikobewertung		
Gefahrenabwehr vs. Vorsorge	Gutachten gehen von unterschiedlichen Zielstellungen (Gefahrenabwehr vs. Vorsorge) aus.	Die verschiedenen Zielstellungen bilden die Grundlage für Unterschiede in allen nachfolgenden Bewertungen.
Datenbasis		
Auswahl / Zusammenstellung der wiss. Literatur / Studien	Zwischen den Gutachten gibt es eine geringe Übereinstimmung bei der Literatursauswahl.	Die unterschiedliche Literaturauswahl trägt zum Mangel an Transparenz bei der Risikobewertung bei.
Aussagekraft und wissenschaftliche Qualitätsstandards		
Sensitivität und Spezifität der Untersuchungsverfahren	Sensitivität und Spezifität werden in den Gutachten nicht systematisch behandelt.	Es werden Untersuchungen berücksichtigt, die für die Risikobewertung unbrauchbar sind und so die Qualität der Risikobewertung beeinträchtigen
Statistische Signifikanz / Trend	Statistische Signifikanz wird nicht von allen Gutachtern für erforderlich gehalten, wenn sich ein Trend ablesen lässt.	Es ergeben sich verschiedene wissenschaftliche Gesamtbilder und damit unterschiedliche Risikobewertungen.
Replikation von Studien / Reproduktion von Ergebnissen	Eine Replikation wird nicht von allen Gutachtern für zwingend erforderlich gehalten.	Es ergeben sich verschiedene wissenschaftliche Gesamtbilder und damit unterschiedliche Risikobewertungen.
Gesundheitliche Relevanz	Die gesundheitliche Relevanz biologischer Wirkungen wird unterschiedlich bewertet.	Befundlagen werden unterschiedlich interpretiert und ergeben unterschiedliche Risikobewertungen.
Übertragbarkeit von Laborstudien auf Realsituationen (Ökologische Validität)	Es gibt keine einheitlichen Anforderungen an die erforderlichen Kriterien für die Übertragbarkeit der Studien.	Es ergeben sich unterschiedliche Befundlagen, die zu unterschiedlichen Risikobewertungen führen.
Erstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes		
Zusammenfassung und Gewichtung von Einzelbefunden	Es finden sich unterschiedliche Vorgehensweisen bei der Gewichtung der Befunde.	Es ergeben sich unterschiedliche Befundlagen, die zu verschiedenen Risikobewertungen führen.
Zusammenfassende Risikobewertung		
Risikocharakterisierung	Der Aufbau der Risikocharakterisierung in den Gutachten ist uneinheitlich.	Risikocharakterisierungen sind unterschiedlich transparent und damit auch in verschiedenem Maße nachvollziehbar.
Risiko- und Unsicherheitskommunikation	Es gibt keine gemeinsamen Begrifflichkeiten für die Kommunikation der Risikobewertung. Unsicherheiten werden kaum kommuniziert.	Die Risikobewertung und Beurteilung des Handlungsbedarfs unterscheiden sich.

Zielstellung bei der Risikobewertung

Die Gutachten des Ecolog-Instituts und des Öko-Instituts gehen vom Vorsorgeprinzip aus – wenngleich sie jeweils spezifische Interpretationen des Vorsorgeprinzips zugrundelegen. Dagegen beziehen sich Glaser und Silny in ihren Gutachten erkennbar auf die Gefahrenabwehr (siehe auch Kapitel 2.3).³⁷

Diese Differenz wird vor allem in den Empfehlungen deutlich, die in den Gutachten gegeben werden. Hier beziehen sich das Ecolog-Institut und das Öko-Institut explizit auf das Vorsorgeprinzip, während Glaser und Silny dieses Prinzip nicht diskutieren.

Die unterschiedliche Orientierung – Vorsorgeprinzip versus Gefahrenabwehr – zeigt sich aber nicht nur bei den Handlungsempfehlungen, sondern auch bei der Risikobewertung selbst. Dies betrifft die Auswahl der Primärstudien für das Gutachten, die Anwendung wissenschaftlicher Qualitätsstandards und die Interpretation der Aussagekraft der Forschungsergebnisse sowie die Erstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes. Die unterschiedlichen Zielstellungen sind ein wesentlicher Grund für die Differenzen in den Risikobewertungen. Dies wird in den folgenden Abschnitten noch genauer aufgezeigt.

Es stellt sich die Frage, ob mit der Anwendung des Vorsorgeprinzips eine andere Vorgehensweise bei der Risikobewertung verbunden sein muss. Einfacher ausgedrückt: Welche Veränderungen lassen sich rechtfertigen, wenn von Vorsorge ausgegangen wird? Bezieht man sich auf das in diesem Zusammenhang häufig angeführte Papier der EU-Kommission (2000) zur Anwendung des Vorsorgeprinzips, so sind zum Beispiel Abstriche an Qualitätsansprüche bei der Risikobewertung zu verneinen. Denn dort ist ausdrücklich von einer „vorläufigen und objektiven Risikobewertung“³⁸ als Grundlage für die Anwendung des Vorsorgeprinzips die Rede. Offenbar geht es unter Vorsorgeaspekten eher um veränderte, genauer um vorsichtigere Maßstäbe zur Begründung der Handlungsnotwendigkeit. Es bleibt aber in den Ausführungen der EU-Kommission offen, ab wann ein „begründeter Anlass zur Besorgnis“ und damit auch ein Handlungsbedarf besteht.

Datenbasis

Wie die Auswertung in Kapitel 4 zeigt, ist die Übereinstimmung in der Auswahl der Primärstudien zwischen den vier Gutachten gering. Dies ist erstaunlich, weil die Gutachter darin übereinstimmen, dass für die Bewertung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes über mögliche Gesundheitsrisiken des Mobilfunks nur solche Untersuchungen herangezogen werden sollen, die wissenschaftlichen Qualitätskriterien genügen. Offenbar ist ein wesentlicher

³⁷ Diese wird auch schon in den unterschiedlichen Titeln der Gutachten deutlich.

³⁸ EU-Kommission (2000), S. 12. Siehe auch oben Kapitel 2.3 und 7.1.

Grund für die Differenzen die Verwendung unterschiedlicher Relevanzkriterien bei der Auswahl der Studien.

Zwar sagt die geringe Übereinstimmung der Gutachten in der Datenbasis an sich nichts über Qualität der einzelnen Gutachten aus. Sie führt aber dennoch zu gravierenden Problemen. Es bleibt für den Leser unklar, ob sich Unterschiede in der Risikobewertung aus der unterschiedlichen Datenbasis ergeben oder ob sie das Resultat anderer Differenzen bei der Risikobewertung sind. Und es liegt natürlich die Frage nahe, ob die Unterschiede in der Datenbasis nicht doch bedeuten, dass in einzelnen Gutachten wesentliche wissenschaftliche Arbeiten nicht berücksichtigt und weniger wichtige Arbeiten aufgenommen worden sind – ohne dass man (als Leser) entscheiden könnte, welches der Gutachten hier besser und welches schlechter zu beurteilen ist.

In den Diskussionen zu den verschiedenen Themenfeldern war es jedoch möglich, die (meist wenigen) zentralen Untersuchungen für die jeweiligen Themenfelder zu identifizieren und zu diskutieren. Dabei zeigt sich auch, dass Ecolog – wie in den Diskussionen von anderen Teilnehmern angemerkt wurde – zumindest für einige Themenfelder in seinem Gutachten eher Untersuchungen aufgenommen hat, in denen sich positive Befunde ergeben haben, und solche mit negativen Befunden nicht aufführt (siehe dazu auch die entsprechenden Äußerungen in der schriftlichen Stellungnahme von Schüz, S. 14 und Stalla, S. 5). In der Diskussion wurde diese Auswahl von Neitzke damit begründet, dass es in dem Gutachten um eine – wie es der Titel des Gutachtens schon ausdrückt – „Bewertung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes“ ging und nicht um eine Risikobewertung aus der Perspektive der Gefahrenabwehr. Ob die damit verbundene hohe Gewichtung positiver Befunde schon bei der Literatursauswahl für eine Risikobewertung zulässig ist, war und blieb in den Workshopdiskussionen zwischen den Teilnehmern strittig.

Wissenschaftliche Qualitätsstandards und Aussagekraft

Grundsätzlich waren sich die Gutachter darin einig, dass für die Beurteilung der Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen bei der Risikobewertung die in der Wissenschaft üblichen Qualitätsstandards gelten müssen. So können beispielsweise Einzelfallbeobachtungen zur Wirkung von Mobilfunkfeldern auf Menschen nicht für die Risikobewertung herangezogen werden. Einigkeit bestand auch darüber, dass – gemessen an den strengen Anforderungen, wie sie etwa die Strahlenschutzkommission (SSK) formuliert hat (z.B. Replikation erforderlich, eindeutiges wissenschaftliches Gesamtbild) – die vorliegenden Befunde nicht als Beweise für gesundheitliche Schädigungen angesehen werden können. Differenzen ergeben sich jedoch in Bezug darauf, was als Hinweis auf Risiken gewertet werden soll. Im folgenden werden die kritischen Punkte dargestellt, die diesen Differenzen zugrunde liegen.

Sensitivität und Spezifität: Für einige der in der wissenschaftlichen Literatur untersuchten Fragestellungen zu Wirkungen hochfrequenter EMF werden Verfahren herangezogen, die zwar sehr sensitiv reagieren, dafür aber wenig

spezifisch sind. Im Projekt sind dies: Das Wach-EEG sowie Verfahren zur Untersuchung von Stresshormonen und zu DNA-Brüchen. Auf diese Problematik wurde von den beratenden Experten für die jeweiligen Themenfelder aufmerksam gemacht (siehe dazu Kap. 6.2, 6.6 und 6.7). In den vier Gutachten selbst wird dieser Aspekt nicht systematisch und kritisch als Problem für die Risikobewertung diskutiert.

Dabei heißt sensitiv, dass die Untersuchungen einen geringen Anteil an falsch negativen Befunden erbringen. Zusammenhänge, die in der Realität vorliegen, werden auch entdeckt. Ein Verfahren ist um so sensitiver, je höher der Anteil der richtig positiven Befunde ist. Spezifisch bedeutet, dass Untersuchungen einen geringen Anteil an falsch positiven Befunden haben. Ein Verfahren ist um so spezifischer, je höher der Anteil der richtig negativen Befunde ist (siehe Abbildung 3).³⁹

	Zusammenhang in der Realität zwischen Exposition und Wirkung vorhanden	Zusammenhang in der Realität nicht vorhanden
Untersuchung positiv	Richtig positive (a)	Falsch positive (b)
Untersuchung negativ	Falsch negative (c)	Richtig negative (d)

Abbildung 3: Unterscheidung von Sensitivität und Spezifität

Für die Befundbewertung bedeutet eine hohe Sensitivität, aber geringe Spezifität, dass die in Experimenten gefundenen Effekte nicht bzw. nur schwer der EMF Exposition kausal zuzuschreiben sind. Das heißt, Ergebnisse, die mit Hilfe solcher Messverfahren erzielt wurden, haben keine oder nur geringe Aussagekraft für die Risikobewertung. In den Diskussionen folgten die Gutachter den Einschätzungen der beratenden Experten, so dass abschließend Konsens bei den Diskussionsteilnehmern darüber bestand, dass Ergebnisse aus Untersuchungen, in denen das Wach-EEG, Stresshormone oder DNA-Brüche betrachtet wurden, für die Risikobewertung von Mobilfunkfeldern keine oder nur geringe Bedeutung haben.

Statistische Signifikanz und Trends: Grundsätzlich bestand zwischen den Gutachtern darin Übereinstimmung, dass die statistische Absicherung von Untersuchungsergebnissen ein wichtiges Qualitätskriterium für die Beweisführung ist. Allerdings vertraten zumindest einige Diskussionsteilnehmer die Ansicht, dass die statistische Signifikanz kein „K.O.“-Kriterium bei der Beurteilung von Studienergebnissen sein sollte. Das heißt, für die Einschätzung,

³⁹ Sensitivität und Spezifität lassen sich in der obigen Vierfeldertafel wie folgt berechnen:
Sensitivität = $a/a+c$; Spezifität = $d/b+d$.

ob ein Befund als zufällig zurückgewiesen oder aber als überzufällig akzeptiert wird, sollten neben dem Erreichen des Signifikanzniveaus auch andere Aspekte, wie die Stichprobengröße und die Effektgröße (und damit die Power einer Untersuchung) herangezogen werden. Vor allem Ecolog vertrat die Ansicht, dass auch (statistisch nicht signifikante) Trends, die in den Daten sichtbar werden, wichtige Informationen für die Interpretation der Ergebnisse liefern – besonders, wenn sich diese Trends in ähnlicher Weise bei verschiedenen Parametern zeigen (siehe dazu etwa die Studie von de Seze et al. 1998; siehe Kap. 6.2).

Für die Risikobewertung bedeutet eine Lockerung des Signifikanzkriteriums, dass die Wahrscheinlichkeit für Fehler 1. Art (d.h. falsch Positive: Es wird ein Effekt konstatiert, obwohl tatsächlich kein Effekt vorhanden ist) größer wird und die Wahrscheinlichkeit für Fehler 2. Art (d.h. falsch Negative: Ein tatsächlich vorhandener Effekt wird nicht anerkannt) verringert wird. Eine grundsätzliche Einigung in der Frage, ob eine solche Gewichtsverschiebung, insbesondere unter dem Blickwinkel der Vorsorge gerechtfertigt ist, wurde nicht erzielt und auch bei der Diskussion der einzelnen Arbeiten blieb der Dissens bezüglich der Akzeptanz bzw. Zurückweisung der Ergebnisse bestehen.

Replikation von Untersuchungsergebnissen: Einer der zentralen Diskussionspunkte betraf die Notwendigkeit der Replikation von Untersuchungsergebnissen, bevor diese für die Risikobewertung herangezogen werden können. Zwar bestand auch hier Übereinstimmung zwischen den Diskussionsteilnehmern, dass Replikation grundsätzlich wünschenswert ist und dass für viele Untersuchungen zur Wirkung von Mobilfunkfeldern solche Replikationen fehlen. Ecolog betonte, dass ein Ausschluss von Untersuchungsergebnissen aus der Risikobewertung wegen fehlender Replikation nicht sinnvoll ist. Dabei wurde argumentiert, dass in diesem Forschungsfeld exakte Replikationen von Untersuchungen häufig technisch sehr schwierig und mitunter auch gar nicht angebracht sind (wenn sich beispielsweise im Nachhinein Schwächen im ursprünglichen Untersuchungsdesign zeigen). Darüber hinaus ist die Durchführung von Replikationsstudien nach Einschätzung von Ecolog für Wissenschaftler wenig attraktiv, da sie weder für Veröffentlichungen in Fachzeitschriften noch für das Erwerben akademischer Titel hilfreich sind⁴⁰.

Die von Neitzke vorgebrachten Argumente wurden in der Diskussion als mögliche Erklärungen für den Status Quo nicht bestritten. Kontrovers bleibt aber, ob Untersuchungsergebnisse repliziert worden sein müssen, bevor sie für die Risikobewertung herangezogen werden können. In diesem Zusammenhang wurde von Küppers (Öko-Institut) darauf hingewiesen, dass die Forderung nach Replikation nicht nur für positive Befunde zu gelten habe, sondern auch für negative Untersuchungsergebnisse. Als weiterer kritischer Punkt ergab sich in den Diskussionen die Frage, wie exakt eine Studie die Originalarbeit wiederholen muss, um als Replikation gelten zu können. Diese Frage konnte ebenfalls nicht abschließend geklärt werden.

⁴⁰ Ob dies jedoch auch in Bereichen gilt, die politisch umstritten sind – wie z. B. bei der Bewertung des Mobilfunks –, ist jedoch zu bezweifeln.

Für die Risikobewertung bedeutet die Einbeziehung von Untersuchungsergebnissen ohne Replikation eine geringere Belastbarkeit der Schlussfolgerungen, die aus den Studien gezogen werden.

Gesundheitliche Relevanz von Ergebnissen: Zwischen den Gutachtern bestand Einigkeit, dass zwischen der biologischen Wirkung von Mobilfunkfeldern und einer Gesundheitsschädigung durch solche Felder unterschieden werden muss. Diese Unterscheidung ist allerdings für die Risikobewertung zentral. Denn der Bezug auf eine Schädigung ist für jede Risikobetrachtung konstitutiv – ohne Schädigungsbezug kein Risiko.

Dass Mobilfunkfelder biologische Wirkungen haben können, wurde nicht grundsätzlich ausgeschlossen, wenngleich sich hier verschiedene Einschätzungen der Belastbarkeit der entsprechenden Forschungsergebnisse zeigten. Bedeutsamer sind aber die unterschiedlichen Einschätzungen der Gutachter bei der Frage, ob bzw. unter welchen Bedingungen bei einer Risikobewertung biologische Wirkungen als Indikatoren für gesundheitsschädliche Effekte herangezogen werden können. Ist beispielsweise eine Verkürzung von Reaktionszeiten unter dem Einfluss von GSM-Feldern, wie sie von Preece et al. (1999) gefunden wurden, ein Indikator für Gesundheitsrisiken – selbst wenn eine Verkürzung der Reaktionszeit zunächst einmal ja eine Verbesserung und nicht etwa Verschlechterung kognitiver Funktionen anzuzeigen scheint (siehe Kap. 6.1)?

Ecolog argumentierte, dass aus der Vorsorgeperspektive auch biologische Wirkungen für die Risikobewertung bedeutsam sein können, selbst wenn diese Wirkungen an sich keine gesundheitsschädlichen Effekte darstellen, da solche Effekte auf bislang unverstandene Wirkmechanismen hochfrequenter elektromagnetischer Felder verweisen können. Obwohl die anderen Gutachter bei einigen biologischen Wirkungen ebenfalls Defizite im wissenschaftlichen Verständnis konstatierten, folgten sie nicht dem Argument, dass biologische Wirkungen per se schon als Indikatoren für Schädigungen angesehen werden können.

Die unterschiedliche Gewichtung von biologischen Wirkungen einerseits und Gesundheitsschädigungen andererseits führt jedoch zu einer differenten Interpretation der Befundlage und damit auch zu unterschiedlichen Risikobewertungen.

Ökologische Validität von Ergebnissen: Neben dem Problem der gesundheitlichen Relevanz von Befunden spielte auch die ökologische Validität der Befunde eine wichtige Rolle in der Diskussion. Damit ist gemeint, ob Laborbefunde sich auf natürliche Situationen übertragen lassen. Dies ist wesentlich eine Frage der Ähnlichkeit von Laborsituation und natürlicher Situation, im gegebenen Fall also der Befundung von Menschen durch die Nutzung von Mobiltelefonen oder durch Mobilfunksender in Wohngebieten.

Die Gutachter waren sich einig, dass nicht nur Studien, die im Frequenzbereich des Mobilfunks durchgeführt wurden, für eine Risikobewertung heran-

gezogen werden können, sondern auch solche, die benachbarte Frequenzbereiche (100 MHz bis 3 GHz) betreffen. So wurden epidemiologische Studien mit Rundfunk- oder TV-Sendern als Emissionsquelle von allen Diskussionsteilnehmern als aussagekräftig für Risikobewertung von Mobilfunkfeldern eingeschätzt (siehe Kap. 6.3). Auch hinsichtlich der Bedeutung der Signalform (gepulst versus nicht-gepulst) für die Bewertung der Studienrelevanz gab es keinen prinzipiellen Dissens.

Unterschiedliche Einschätzungen zeigten sich aber bezüglich der Anforderungen, die an die Expositionsbeschreibung (Dosimetrie) zu stellen sind. Hier vertraten Glaser, Küppers und Silny die Auffassung, dass Befunde aus Studien ohne klare Expositionsbeschreibung für die Risikobewertung des Mobilfunks untauglich sind. Auch Ecolog sieht diese Problematik, zieht aber trotzdem mit den Untersuchungen zur beruflichen Exposition auch Arbeiten für die Risikobewertung heran, für die meist keine hinreichenden Expositionsbeschreibungen vorliegen⁴¹. Dies wurde damit begründet, dass derzeit keine besseren Arbeiten verfügbar sind (siehe Kap. 6.3). In diesem Punkt blieben die unterschiedlichen Einschätzungen zwischen Ecolog und den anderen Diskussionsteilnehmern bestehen.

Für die Risikobewertung bedeuten die verschiedenen Anforderungen an die ökologische Validität, dass sich schon deswegen unterschiedliche Interpretationen der Befundlage ergeben können.

Erstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes

Die Erstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes ist der wichtigste Schritt bei der Bewertung der wissenschaftlichen Befundlage. Dazu gibt es eine Reihe von Handbüchern und Leitlinien, in denen das Vorgehen bei der systematischen Zusammenfassung beschrieben wird.⁴² In den Gutachten wird jedoch darauf kein expliziter Bezug genommen. Außerdem findet sich keine einheitliche Vorgehensweise bei der Zusammenfassung von Einzelergebnissen.

Zusammenfassung und Gewichtung von Einzelergebnissen: Nach der Diskussion der Einzelergebnisse werden in den Gutachten Ergebnisse zu den verschiedenen Themenfeldern zusammengefasst. Dabei gibt es augenfällige Differenzen. In den Gutachten finden sich sowohl Beispiele für das Herausheben von positiven oder negativen Befunden als auch für das Beiseitelassen

⁴¹ Ecolog unterscheidet bei epidemiologischen Untersuchungen beispielsweise zwischen drei Klassen: (1) Expositionsquelle und -höhe eindeutig identifiziert, (2) Expositionsart identifiziert und (3) HF-Exposition wahrscheinlich (Siehe Ecolog, Tabelle D.1). Erstaunlicherweise gehen alle drei Klassen ohne Unterschied in die Auswertung ein (siehe Tabelle 6.1 im Ecolog Gutachten).

⁴² Z.B. National Health and Medical Research Council (2000): How to use the evidence: assessment and application of scientific evidence (online verfügbar unter: <http://www.nhmrc.health.gov.au/publications/pdf/cp69.pdf>); Cooper, H. & Hedges, L.V. (eds.) (1994): The handbook of research synthesis. New York: Russell Sage Foundation.

von Befunden. Es stellt sich die Frage, wie Befundlagen angemessen zu einem wissenschaftlichen Gesamtbild zusammengefasst werden können. Dieses Problem nahm zwar in den Diskussionen weit weniger Raum⁴³ ein als die bislang geschilderten Probleme der Risikobewertung, darf jedoch in seiner Bedeutung keinesfalls unterschätzt werden.

In der Literatur werden verschiedene Verfahren vorgeschlagen. Wenn immer möglich, sollte eine quantitative Synthese der vorhandenen Befundlage durch eine Meta-Analyse erfolgen. Allerdings stellt eine Meta-Analyse relativ hohe Anforderungen an die verfügbaren Informationen. Ein solches Vorgehen findet sich in keinem der Gutachten und wäre wohl auch für die meisten Themenfelder wegen der sehr heterogenen Datenlage kaum möglich gewesen. Die Zusammenfassung der Befunde erfolgte deshalb in qualitativer Form, zuweilen gestützt durch tabellarische Zusammenfassungen der einzelnen Studien.

Ein kritischer Punkt ist dabei, inwieweit Befunde bei der Erstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes im Hinblick auf die Qualität der jeweiligen Untersuchung und andere relevante Kriterien gewichtet werden sollten. Hierzu finden sich in der Literatur durchaus unterschiedliche Vorgehensweisen. Während etwa die US-amerikanische *Environmental Protection Agency* (1999) in ihren „*Guidelines for carcinogen risk assessment*“ einen *weight-of-evidence* Ansatz vertritt, hält das australische *National Health and Medical Research Council* (2000a) eine solche Gewichtung für nicht empfehlenswert. Um kein Missverständnis aufkommen zu lassen: Diese Ablehnung bedeutet keinesfalls, dass Befunde ohne Ansehen ihrer Qualität in das wissenschaftliche Gesamtbild eingehen sollten. Vielmehr wird hier eine getrennte Darstellung empfohlen: Was sagen die qualitativ hochwertigen Studien, was die Studien geringerer Qualität aus? Natürlich ist hier im Anschluss auch eine Gewichtung vorzunehmen, nur wird diese dann transparenter.

Noch wesentlicher ist jedoch die Frage, wie mit unterschiedlichen Ergebnissen von Studien vergleichbarer Qualität umzugehen ist. Hier ist ein einfaches Auszählen (die Mehrzahl der Studien ergibt ...) nicht befriedigend. Vielmehr müssten im Detail die möglichen Ursachen diskutiert werden.

Die entscheidende Kontroverse betraf die besondere Gewichtung von positiven Einzelbefunden unter Aspekten der Vorsorge, wie sie Ecolog vornimmt. In der Diskussion verteidigte Neitzke diese Gewichtung, der ansonsten die Forderung nach Replikation von Studien als praxisfern einschätzt (siehe die diesbezüglichen Ausführungen weiter oben), mit dem folgenden Hinweis: Solange die positiven Befunde nicht mittels einer identisch reproduzierten Studie widerlegt sind, gilt der Befund. Diese Auffassung wurde jedoch von

⁴³ Es sei daran erinnert, dass es nicht das Ziel des Projekts war, eine neue Risikobewertung zu entwickeln. Vielmehr ging es um die Analyse der Gründe der unterschiedlichen Bewertungen. Damit standen Schlüsselarbeiten, die unterschiedlich beurteilt werden, stärker im Fokus ebenso wie die Probleme der Zusammenfassung von Einzelbefunden. Lösungen für die Ermittlung des wissenschaftlichen Gesamtbildes konnten deswegen nicht abschließend erörtert werden.

den übrigen Gutachtern nicht mitgetragen, die darauf beharren, dass alle wesentlichen Befunde berücksichtigt werden müssen.

Es zeigte sich somit, dass unterschiedliche Vorgehensweisen und Logiken bei der Erstellung eines wissenschaftlichen Gesamtbildes zu differenten Risikobewertungen beitragen.

Zusammenfassende Risikobewertung

Aus dem wissenschaftlichen Gesamtbild sind Schlussfolgerungen für die Risikobewertung zu ziehen. Dazu dient die Risikocharakterisierung⁴⁴: Hierfür gibt es zwar Leitlinien und Kriterien, z.B. im Handbuch der US-amerikanischen Umweltbehörde (EPA 2000). Diese werden aber in den Gutachten nicht herangezogen. Da jeder Gutachter eine eigene Form der Risikocharakterisierung wählt und diese sich außerdem im Aufbau und im Begründungsumfang beträchtlich unterscheiden, ist es nicht verwunderlich, dass die Gutachten zu verschiedenen Risikobewertungen kommen. Außerdem ergeben sich damit auch für den nicht fachkundigen Leser leicht Interpretationsfehler, die zu einer Fehleinschätzung führen können. Ausschlaggebend hierfür ist die fehlende Kommunikation der Unsicherheiten der Risikobewertung.

Form der Risikocharakterisierung: In den Gutachten werden unterschiedliche Darstellungsformen der Risikocharakterisierung gewählt. Das Öko-Institut und Silny nutzen eine rein textliche Form, wobei das Öko-Institut die Darstellung der einzelnen Untersuchungen zu den im Gutachten behandelten Themenfeldern von der Bewertung in bezug auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen trennt und auch noch eine abschließende Gesamtbewertung des Risikos liefert. Bei Silny erfolgt ebenfalls zunächst die Darstellung der einzelnen Untersuchungen zu dem jeweiligen Themenfeld und daran anschließend eine Bewertung in bezug auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen. Auch er liefert (an den Anfang des Gutachtens gestellt) eine Gesamtbewertung des Risikos.

In dem Gutachten von Glaser wird die vorwiegend textliche Darstellung der Befundlage bei einigen Themenfeldern durch Tabellen ergänzt, in denen die wichtigsten Untersuchungen mit ihren Ergebnissen und weiteren Informationen zu Expositionsparametern aufgelistet werden. Glaser liefert am Ende jedes Kapitels zu einem Themenfeld eine zusammenfassende Bewertung der Befundlage in bezug auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen des Mobilfunks.

Im Gutachten von Ecolog wird die Darstellung der Befundlage von der zusammenfassenden Bewertung der gesundheitlichen Risiken des Mobilfunks getrennt. Für eine Reihe von Themenfeldern basiert die Darstellung der Be-

⁴⁴ Risk Characterization integrates information from the preceeding components of the risk assessment and synthesizes an overall conclusion about risk that is complete, informative and useful for decision makers. (EPA 2000, S.10).

fundlage in hohem Maße auf der tabellarischen Zusammenfassung der Studien und ihrer Ergebnisse sowie relevanter Expositionsparameter. Dabei werden in den Tabellen auch Arbeiten aufgeführt, die in dem dazugehörigen Textteil nicht angesprochen werden. Die Bewertung der Qualität der einzelnen herangezogenen Arbeiten findet meist nicht im Text oder in den Tabellen statt, sondern erfolgt für die ca. 100 als wichtig ausgezeichneten Arbeiten in einem separaten Anhang, der (als Auszug aus der Ecolog-Datenbank *EMFbase*) eine systematische, für alle Arbeiten gleich strukturierte Übersicht zum Untersuchungsgegenstand, zum methodischen Vorgehen und zu den Ergebnissen gibt. Dabei wird auch eine Bewertung der Dokumentation und Eignung der Untersuchungsmethode gegeben.

Diese Risikobewertung auf der Basis der Trennung von inhaltlicher Argumentation im Text, tabellarischer Auflistung der dazugehörigen Studien sowie Qualitätsbewertung dieser Studien im Anhang wurde von einigen beratenden Experten als schwer nachvollziehbar kritisiert (siehe die schriftlichen Stellungnahmen von Buschmann, Görlitz und Schüz). Inwieweit dies für andere Leser ebenfalls ein Problem darstellt, ist eine Frage, die hier nicht abschließend beantwortet werden kann. Allerdings ist ein diesbezüglicher Verdacht naheliegend. Damit zeigt sich erneut die bekannte Tatsache, dass die Form der Darstellung erheblichen Einfluss auf die Nachvollziehbarkeit und damit auf das Verständnis der Argumentation haben kann.

Risiko- und Unsicherheitskommunikation: Da es für gesundheitsschädliche Effekte von Mobilfunkstrahlung unterhalb der geltenden Grenzwerte nach einheitlicher Einschätzung aller Gutachter keinen wissenschaftlichen Nachweis gibt, andererseits die Unbedenklichkeit von Mobilfunkfeldern prinzipiell nicht bewiesen werden kann, muss die Entscheidung, ob und ggf. welche Maßnahmen zur Vorsorge einzuleiten sind, unter Unsicherheit erfolgen. Diese Entscheidung ist selbst keine wissenschaftliche, sondern eine normative Entscheidung. Sie kann – und sollte – aber aufgrund der wissenschaftlichen Risikocharakterisierung erfolgen. Dazu ist es erforderlich, dass die Risikoeinschätzung sowie die damit zusammenhängenden Unsicherheiten einheitlich und nachvollziehbar beschrieben und klassifiziert wird.

In der Literatur zur Risikobewertung finden sich eine Reihe von Klassifikationsvorschlägen, die zum Teil auch schon praktisch angewendet werden, etwa das Klassifikationsschema der *International Agency for Research on Cancer* (IARC) für die Bewertung der Kanzerogenität von Stoffen⁴⁵. Andere Klassifikationsschemata beziehen sich nicht nur auf Studien zur Kanzerogenität. Die SSK unterscheidet zwischen *wissenschaftlichem Nachweis*, *wissenschaftlich begründeten Verdacht* und *wissenschaftlichem Hinweis*.⁴⁶ Das Ecolog-Institut hat eine fünfstufige Klassifizierung vorgeschlagen: *Nachweis* (es liegen übereinstimmende Ergebnisse identischer Untersuchungen vor),

⁴⁵ Siehe im Internet: <http://193.51.164.11/monoeval/Eval.html>

⁴⁶ Strahlenschutzkommission (2001): Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern – Empfehlungen der Strahlenschutzkommission. Bonn: SSK, S. 7.

konsistente Hinweise (es liegen (starke) Hinweise aus unterschiedlichen Untersuchungsansätzen mit gleichem Endpunkt vor), *starker Hinweis* (es liegen übereinstimmende Ergebnisse vergleichbarer Untersuchungen vor), *Hinweis* (es liegen ähnliche Ergebnisse vergleichbarer Untersuchungen vor) und *schwacher Hinweis* (es liegen einzelne Untersuchungsergebnisse vor).⁴⁷

Wichtig für die Anwendung eines Klassifikationsschemas ist, dass es eindeutige Kriterien für die Zuordnung der Befundlage zu einer Klassifikationsstufe gibt. In den Gutachten wie in den Diskussionen zeigte sich, dass kein gemeinsames Klassifikationsschema genutzt wird und dass es bislang auch kein gemeinsames Verständnis eines solchen Klassifikationsschemas gibt. Allerdings waren sich die Gutachter einig, dass eine einheitliche und klare Klassifikation wesentlich für eine transparente Risikobewertung ist.

Für die Risikobewertung bedeutet das Fehlen eines einheitlichen Klassifikationsschemas, dass die Befundlage unterschiedlich beschrieben wird und es so zu unterschiedlichen Risikobewertungen und damit möglicherweise auch zu verschiedenen Bewertungen des Handlungsbedarfs kommt. Ein verbindliches Klassifikationsschema zu etablieren ist deshalb eine wichtige Aufgabe für die Organisation zukünftiger Prozesse der Risikobewertung.

7.2 Vorschläge für ein Vorgehen bei der Risikoabschätzung und -bewertung

In der Literatur gibt es eine Reihe von Vorschlägen für eine strukturierte und transparente Risikobewertung (siehe dazu im Überblick Hennings et al. 2002). Beispielsweise hat der SRU (1995) ein Verfahrensvorschlag unterbreitet, der vom Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit (1999) weiter entwickelt wurde. In den USA liegen u.a. Vorschläge des National Research Council (1996) sowie der Presidential/Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management (1997) vor. Auf diese kann aufgebaut werden, allerdings muss dabei die besondere Spezifik unseres Themenfelds berücksichtigt werden.

Nachfolgende Abbildung 4 gibt einen Überblick, wie eine solche Risikoabschätzung organisiert werden kann. Dabei gehen wir von folgenden Grundsätzen aus:

- Risikoabschätzung, Risikobewertung und Risikomanagement sind zu trennen.
- Die Risikoabschätzung ist Sache der Wissenschaft, Entscheidungen über das Risikomanagement ist Sache der Politik.
- Die Risikobewertung bildet die Verbindungsstelle zwischen Risikoabschätzung und Risikomanagement und erfordert sowohl Beiträge der Wissenschaft wie auch Beiträge der Politik.

⁴⁷ Siehe im Internet: www.ecolog-institut.de/grenzwer.htm

- Ob und wie Politik die Risikobewertung und Entscheidungen über das Risikomanagement partizipativ (d.h. unter Einschluss gesellschaftlicher Gruppen und von Betroffenen) ausgestaltet, ist deren Angelegenheit und unterliegt nicht der Beurteilung der Wissenschaft. Umgekehrt sollte die Politik aber auch keinen Einfluss auf die Risikoabschätzung nehmen. Hier dürfen allein wissenschaftliche Gründe zählen.

Wie die nachfolgende Abbildung 4 zeigt, ist die Risikoabschätzung in sieben Stufen gegliedert. Diese Stufen sind zwar sequenziell angeordnet, Rückkopplungen sind jedoch durchaus möglich. Beispielsweise können die externen Experten in Stufe ④ neue Studien vorgeschlagen, die in Stufe ③ nicht berücksichtigt waren.

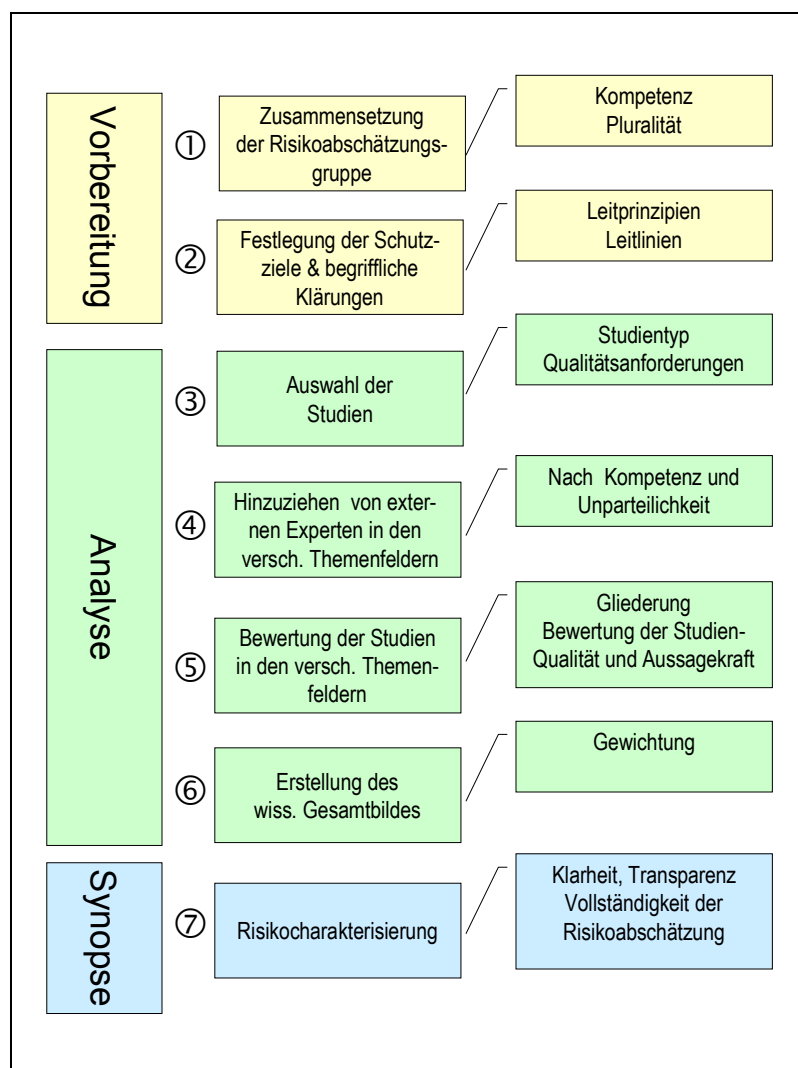


Abbildung 4: Risikoabschätzung

Stufe 1: Zusammensetzung der Risikoabschätzungsgruppe

Da die Risikoabschätzung im Bereich der EMF des Mobilfunks ganz unterschiedliche Kompetenzen verlangt (Dosimetrie, Biophysik, Biologie, verschie-

dene Bereiche der Medizin wie Schlafforschung, Epidemiologie, Endokrinologie, Molekulare Medizin usw.) ist Sorge zu tragen, dass möglichst alle wesentlichen Bereiche vertreten sind.

Dabei sollte auch auf einen wissenschaftspolitischen Pluralismus geachtet werden. Es ist durchaus zu empfehlen, Wissenschaftler einzubeziehen, die unterschiedliche Risikobewertungen vertreten. Notwendige Voraussetzung ist jedoch immer die wissenschaftliche Kompetenz.

Zur besseren Transparenz des in der Gruppe vorhandenen Expertenwissens sollten Kompetenzprofile erstellt und öffentlich zugänglich gemacht werden. Das heißt, jeder Experte hat anzugeben, über welche wissenschaftlichen Kernkompetenzen er oder sie verfügt, welche Arbeitsgebiete er oder sie vertritt und welchen wissenschaftlichen Gremien er oder sie angehört.

In Tabelle 6 findet sich ein erster Vorschlag für solche Kompetenzprofile.

Tabelle 6: Kompetenzprofile

Kriterium	Beispiele
Akademische Ausbildung	Biologie
Arbeitsschwerpunkte	Schlafforschung, experimentelle Tierforschung zur Krebsentwicklung
Wichtige Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Qualitätszeitschriften in den letzten 2 Jahren	Epidemiology, Radiation Research , Lancet, Bioelectromagnetics, Radiation Protection Dosimetry
Andere Nachweise der Expertise	Beratungsaktivitäten, Mitarbeit an Gutachten, Herausgabe von Zeitschriften
Mitgliedschaft oder Mitarbeit in wissenschaftlichen Gremien	SSK

Vorschläge für die Zusammensetzung der Expertengruppe sollten auch unter den beteiligten Experten soweit konsensfähig sein, dass die Arbeitsfähigkeit gewahrt bleibt.

Stufe 2: Festlegung der Schutzziele und begriffliche Klärungen

Zu Beginn einer Risikoabschätzung sind Untersuchungsziele und Untersuchungsrahmen zu klären. Zunächst muss entschieden werden, ob die Risikoabschätzung aus der Perspektive der Vorsorge oder der Gefahrenabwehr vorgenommen werden soll. Festzulegen ist, ob der Schwerpunkt der Analyse auf dem Nachweis von Risiken oder auf der Ebene von Hinweis bzw. Verdacht liegen soll. Dabei muss vor allem darüber Einigkeit erzielt werden, ob diese unterschiedlichen Perspektiven – Gefahrenabwehr vs. Vorsorge – auch unterschiedliche Kriterien für die Risikoabschätzung implizieren und wie diese ggf. aussehen.

Geklärt werden müssen auch die zentralen Begriffe, mit denen die Befundlage charakterisiert werden soll. Für die Verwendung von Begriffen wie Nachweis, Verdacht, Hinweis, Adversität etc. muss Einigkeit über operationale De-

initionen erzielt werden. Wo möglich, sollte hier auf eingeführte Definitionen anerkannter Gremien (z. B. WHO) zurückgegriffen werden.

Schließlich muss eine einheitliche Konzeption für die Auswahl und Bewertung der wissenschaftlichen Literatur sowie der Erstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes entwickelt werden. In diesem Zusammenhang muss auch geklärt werden, welche Anforderungen an die beratenden Experten gestellt werden sollten, die für die einzelnen Themenfelder unterstützend herangezogen werden sollen.

Stufe 3: Auswahl der wissenschaftlichen Literatur

Für die Auswahl und Bewertung wissenschaftlicher Literatur gibt es mittlerweile in verschiedenen Fachgebieten eine Reihe von Leitlinien.⁴⁸ So liefert beispielsweise das *Cochrane Reviewers Handbook* für den medizinischen Bereich, speziell zu randomisierten, kontrollierten Studien, sehr detaillierte Informationen zu allen Facetten einer systematischen Literatursuche und -bewertung.⁴⁹ Ähnlich detailliert ist das Handbuch des englischen NHS Centre for Reviews and Dissemination.⁵⁰

Wesentliche Fragen, die für die Auswahl wissenschaftlicher Studien zu den gesundheitlichen Wirkungen von Mobilfunk geklärt werden müssen, sind:

- Der zu berücksichtigende Studientyp: Welche Qualitätsanforderungen sind an die Studien zu stellen? Sollen nur Arbeiten erfasst werden, die peer reviewed wurden, ist sogenannte „graue Literatur“ akzeptabel?
- Was ist der zu betrachtende Frequenzbereich, welche Feldstärken sind relevant?
- Wie soll die erfasste Literatur dokumentiert werden? In welcher Form soll die Bewertung der Studienqualität erfolgen?

Nach Klärung dieser Fragen sollte in der Risikoabschätzungsgruppe ein Konsens über die zu berücksichtigenden wissenschaftlichen Untersuchungen erzielt werden, so dass die Risikoabschätzung auf einer gemeinsamen Datenbasis durchgeführt wird.

⁴⁸ Für einen allgemeinen Überblick siehe: Cooper, H. & Hedges, L.V. (eds.) (1994): The handbook of research synthesis. New York: Russell Sage Foundation, Part III.

⁴⁹ Clarke, M. & Oxman, A.D. (eds.) (2002): Cochrane Reviewers Handbook 4.1.5 [updated April 2002]. In: The Cochrane Library, Issue 2, 2002. Oxford: Update Software. Updated quarterly. Im Internet unter: Cochrane Collaboration: <http://www.cochrane.org/cochrane/resource.htm>

⁵⁰ NHS Centre for Reviews and Dissemination (2001): Undertaking Systematic Reviews of Research on Effectiveness: CRD's Guidance for Carrying Out or Commissioning Reviews (2nd Edition 2001). Im Internet unter: <http://www.york.ac.uk/inst/crd/report4.htm>

Stufe 4: Auswahl der externen Experten

Für die Risikobewertung von Mobilfunkfeldern müssen Forschungsergebnisse aus zahlreichen, sehr unterschiedlichen Themenfeldern begutachtet werden. Selbst bei einer Gutachtergruppe, die alle für die Risikoabschätzung wesentlichen Themenfelder umfasst, ist es unrealistisch zu erwarten, dass damit auch ausreichend Expertise für die Beurteilung der auftretenden Detailfragen vorhanden ist. Die Einbeziehung beratender Experten, die Spezialisten für ein bestimmtes Themenfeld sind, ist deshalb eine wichtige Bedingung für eine kompetente Risikoabschätzung.

Aufgabe der beratenden Experten ist dabei nicht, selbst eine Risikoabschätzung vorzunehmen. Vielmehr sollen sie zum einen bei der Beurteilung von Detailfragen, etwa über die Interpretation einzelner Forschungsergebnisse in einem bestimmten Themenfeld oder über die Aussagekraft spezifischer Messverfahren oder Parameter, Sachinformationen liefern und zum anderen die Plausibilität von Schlussfolgerungen aus der Befundlage für die Risikoabschätzung vor dem Hintergrund ihrer Sachkenntnis beurteilen.

Neben dem selbstverständlichen Kriterium der Sachkompetenz für ein Fachgebiet sind noch zwei weitere Kriterien für die Auswahl der beratenden Experten zu beachten: Sie sollten unabhängig von wirtschaftlichen oder politischen Interessen in der Mobilfunkdebatte sein, und sie sollten möglichst auch nicht in die wissenschaftliche und/oder öffentliche Debatte um mögliche Risiken des Mobilfunks involviert sein. Damit soll sichergestellt werden, dass die beratenden Experten nicht unter den Vorwurf der Parteistellung geraten, der in der öffentlichen Diskussion hochpolitisierter Themen wie dem möglicher Mobilfunkrisiken schnell geäußert wird, etwa um unliebsame Einschätzungen zu diskreditieren.

Stufe 5: Bewertung der Studien in den verschiedenen Themenfeldern

Bei der Bewertung der Studien geht es um die Frage, ob die jeweilige Untersuchung einen Beleg für eine Verursachung gesundheitsrelevanter Wirkungen auf den Menschen durch hochfrequente elektromagnetische Felder der Mobilfunks darstellt oder nicht. Für diese Bewertung können eine Reihe von Kriterien herangezogen werden:

- **Dosimetrie:** Sind die relevanten Expositionsparameter (Feldstärke, Frequenzbereich, Signalform) der Untersuchung hinreichend bekannt? Nur wenn dies der Fall ist, können die Ergebnisse der Untersuchung für die Beurteilung des Kausalzusammenhangs herangezogen werden.
- **Statistische Signifikanz:** Können die Befunde hinreichend gut gegen die Vermutung eines Zufallsergebnisses abgesichert werden? Die Beurteilung sollte hier nicht schematisch das statistische Standardkriterium von $\alpha = 0.05$ anwenden, sondern auch andere relevante Aspekte, wie z. B. die Power der Studie oder nicht signifikante Trends in den Ergebnissen, berücksichtigen.

- **Kausalität:** Können andere Variablen als Erklärung für den gefundenen Zusammenhang mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden? Hier ist das Untersuchungsdesign zu beurteilen. Der Ausschluss bzw. die Kontrolle von Störvariablen ist vor allem bei epidemiologischen Studien ein Problem. Aber auch bei Experimenten muss dies sorgfältig geprüft werden; beispielsweise: kann bei Tierexperimenten die Art der Tierhaltung oder Fütterung als Erklärung ausgeschlossen werden? Lassen sich Störvariablen nicht ausschließen, so ist dies bei der Bewertung zu berücksichtigen.
Besondere Bedeutung kommt bei der Beurteilung des Kausalzusammenhangs der Sensitivität und Spezifität der benutzten Untersuchungsmethoden (Messverfahren, Tests etc.) zu. Liegt hier eine zwar hohe Sensitivität, aber geringe Spezifität vor, so lassen sich gefundene Effekte nicht oder nur schwer der EMF-Exposition kausal zuschreiben.
- **Adversität:** Hat der gefundene Effekt gesundheitliche Relevanz für den Menschen? Hier ist zu unterscheiden zwischen biologischen Wirkungen der betrachteten EMF und gesundheitsrelevanten Effekten. Werden biologische Wirkungen als Indikator für einen gesundheitsrelevanten Effekt herangezogen, so muss dies begründet werden. Allein das Vorliegen einer biologischen Wirkung reicht als Argument für die Adversität nicht aus. Zu klären ist dabei auch, was unter Adversität verstanden werden soll.⁵¹
- **Ökologische Validität:** Lässt sich die in der Untersuchung betrachtete Situation hinreichend gut auf die realen Bedingungen übertragen, unter denen Mobilfunk stattfindet? Dieser Aspekt betrifft die Frage, welche Schlussfolgerungen sich für die tatsächliche Gefährdung von Menschen ziehen lassen, wenn ein Kausalzusammenhang zwischen EMF Exposition und adverser Wirkung hinreichend gut begründet werden kann. Hier stellt sich vor allem die Frage, ob die untersuchten Expositionsparameter für den Mobilfunk relevant sind.

Neben dieser inhaltlichen Beurteilung ist für eine transparente, nachvollziehbare Bewertung der Studien auch die Dokumentation der Beurteilungen von großer Bedeutung. Auch hierfür geben die genannten Handbücher⁵² zahlreiche Hinweise.

⁵¹ Die WHO (1994, 20) gibt folgende Definition für den Begriff „adverser Effekt“: „change in morphology, physiology, growth, development or life span of an organism which results in impairment of functional capacity or impairment of capacity to compensate for additional stress or increase in susceptibility to the harmful effects of other environmental influences. Decisions on whether or not any effect is adverse require expert judgement.“ Auf der Internet-Seite des International EMF Project der WHO heißt es: „For the biological effect to lead to some adverse health consequence, it should be outside the normal range of compensation, in order to place it beyond normal variation in body responses.“
(http://www.who.int/peh-emf/research_agenda/agenda_intro.htm#defns)

⁵² Clarke, M. & Oxman, A.D. (eds.) (2002): Cochrane Reviewers Handbook 4.1.5; Cooper, H. & Hedges, L.V. (eds.) (1994): The handbook of research synthesis. New York: Russell Sage Foundation.; NHMRC - National Health and Medical Research Council (2000a): How to review the evidence: systematic identification and review of scientific literature.

Stufe 6: Erstellen des wissenschaftlichen Gesamtbildes

Für die Erstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes, die auf der Basis der Bewertung der Einzelstudien für die verschiedenen Themenfelder (Stufe 5) erfolgt, werden in der Literatur verschiedene Verfahren vorgeschlagen. Das vom Informationsgehalt stärkste Verfahren ist eine Meta-Analyse, d.h. eine quantitative Synthese der Befundlage. Allerdings stellt dieser Ansatz hohe Anforderungen an die verfügbaren Informationen. Häufig wird deshalb nur eine qualitative Zusammenfassung der Ergebnisse möglich sein.

Wesentlich ist, dass alle Studien in den verschiedenen Themenfeldern und nicht nur einzelne Studien berücksichtigt werden. Und: Erst nach der Bewertung des wissenschaftlichen Gesamtbilds kann eine Risikocharakterisierung vorgenommen werden. Einzelne Studien haben noch keinen Entscheidungswert.

Das EMF Projekt in Kalifornien⁵³ hat dazu einen interessanten Ansatz vorgelegt, der die notwendigen und hinreichenden Bedingungen für die begründete Annahme eines Risikos und eine begründete Ablehnung des Risikos auf der anderen Seite aufzeigt.

Wissenschaftliche Argumente würden für die Annahme eines Risikos unterhalb der derzeit gültigen Grenzwerte sprechen, wenn alle folgende Bedingungen vorliegen:

- Epidemiologische Studien zeigen wiederholt, dass bei Exposition unterhalb der Grenzwerte erhöhte Risiken auftreten.
- Tierexperimentelle Studien zeigen konsistent, dass bei diesen Experimenten erhöhte Risiken unterhalb der Grenzwerte auftreten.
- Studien weisen einen Wirkungsmechanismus nach, der verständlich macht, wie die Einwirkung sehr schwacher Felder in eine biologische Reaktion umgesetzt wird.
- Biophysikalische Theorien stützen diesen Wirkmechanismus.

Wissenschaftliche Argumente würden gegen ein Risiko unterhalb der Grenzwerte sprechen, wenn insgesamt gilt:

- Epidemiologische Studien zeigen keine erhöhten Risiken unterhalb der Grenzwerte. Für Risiken, die in früheren Studien gefunden wurden, können andere Ursachen und Fehler nachgewiesen werden.
- Tierexperimentelle Studien zeigen konsistent keine erhöhten Risiken bei einer Befeldung mit EMF unterhalb der Grenzwerte.
- Studien zu Wirkungsmechanismen zeigen, dass die thermische Wirkungsschwelle entscheidend ist.
- Biophysikalische Theorien lassen andere Wirkmechanismen unterhalb dieser Wirkungsschwelle als theoretisch nicht plausibel erscheinen.

⁵³ siehe <http://www.dhs.cahwnet.gov/ehib/emf/RiskEvaluation/riskeval.html>

Falls diese Bedingungen nicht gegeben sind- und das ist der Fall -, müssen drei Aspekte ausführlich bewertet werden: (1) die Konsistenz/Inkonsistenz der Befundlage, (2) die Beschreibung von Unsicherheiten und (3) die Beschreibung der möglichen Variabilität.

Die Bewertung der **Konsistenz** der Befundlage bei der Erstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes liefert wichtige Informationen für die abschließende Risikocharakterisierung (Stufe 7). Dies impliziert, dass bei der Erstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes sowohl die positiven wie die negativen Befunde (mit ihren jeweiligen Gewichtungen) berücksichtigt werden müssen.

Dabei sind die Einzelbefunde im Hinblick auf ihre methodische Qualität und die anderen im vorhergehenden Abschnitt (Stufe 5) genannten Kriterien zu gewichten. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse, ohne dass solche Unterschiede in den betrachteten Untersuchungen berücksichtigt werden, führt ggf. zu einem verzerrten wissenschaftlichen Gesamtbild.

Eine unterschiedliche Berücksichtigung positiver und negativer Befunde, etwa mit dem Argument, dass die Risikoabschätzung aus der Vorsorgeperspektive erfolgt, sollte unserer Auffassung nach, erst bei der Risikobewertung diskutiert werden. Nur so kann gewährleistet werden, dass der Unterschied zwischen der Darstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes und dessen Bewertung im Hinblick auf ein Risiko transparent und nachvollziehbar bleibt.

Zur Darstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes gehört auch die Kennzeichnung der vorhandenen **Unsicherheiten**. Beispielsweise ist es notwendig, die Unsicherheiten bei der Expositionsabschätzung explizit zu machen. Weiterhin muss erkennbar sein, wie sicher bzw. unsicher das Wissen über die Adversität (d.h. die Schädigungswirkung) der untersuchten Endpunkte ist. Handelt es sich hier um eine wissenschaftlich unstrittige Tatsache, eine Hypothese oder um einen Verdacht? Gleiches gilt auch für den Wirkmechanismus: Ist dieser bekannt, gibt es eine wissenschaftliche Vermutung oder ist kein Mechanismus bekannt? Darüber hinaus muss auch diskutiert werden, ob die Befunde von In vitro-Studien und tierexperimentellen Studien auf den Menschen übertragen werden können. Dabei kann auf Leitfäden – wie die der US-amerikanischen Umweltbehörde EPA zur Abschätzung der Kanzerogenität⁵⁴ – zurückgegriffen werden.

Der letzte Punkt ist die Bewertung der **Variabilität**. Damit ist gemeint, ob die Befunde, wenn sie auf den Menschen übertragen werden können, mögliche, unterschiedliche Empfindlichkeiten – zum Beispiel die von Kindern – berücksichtigen. Dabei ist es jedoch wichtig, dass unterschiedliche Dispositionen nicht nur angenommen, sondern auch hinreichend belegt werden. Damit

⁵⁴ Proposed Guidelines for Carcinogen Risk Assessment; Notice. Federal Register 61:17960-1801, 23 April 1996; Guidelines for Developmental Toxicity Risk Assessment. Federal Register 56: 63798-63826, 5 December 1991; Guidelines for Exposure Assessment. Federal Register 57: 22888-22938, 29 May 1992; Guidelines for Reproductive Toxicity Risk Assessment; Notice. Federal Register 61:56274-56322, 31 October 1996.

hängt auch die Frage der Elektrosensibilität zusammen: Ob eine solche besondere Disposition besteht, ist wissenschaftlich nach wie vor unklar. Diese hier bestehenden Probleme – letztlich handelt es sich wieder um Unsicherheiten – sind explizit zu machen.

Stufe 7: Risikocharakterisierung

Mit der Risikocharakterisierung soll eine möglichst vollständige, informative und für die Entscheidungsfindung nutzbare Gesamteinschätzung für ein Risiko gegeben werden, die auf den vorhergehenden Schritten der Risikoabschätzung aufbaut und diese zusammenfasst (vgl. EPA 2000, S. 10)⁵⁵.

Risiko-Charakterisierung

Prinzip	Definition	Kriterien
Transparenz	Offenlegung des Risk Assessment-Prozesses	<ul style="list-style-type: none"> • Beschreibung der Vorgehensweise, Annahmen, Modelle und Extrapolationen • Identifikation von Datenlücken • Darstellung der Unsicherheiten
Klarheit	Verständlichkeit der Darstellungen	<ul style="list-style-type: none"> • Kürze • Logischer Aufbau • Umgangssprache
Konsistenz	Lege artis Vorgehen	<ul style="list-style-type: none"> • Peer Reviewing • Übereinstimmung mit Leitfäden und "Gute Praxis"-Vorgehen
Angemessenheit	Die Bewertung erfolgt nach bestem wissenschaftlichen Wissen	<ul style="list-style-type: none"> • Peer Reviewing • Neueste Daten • "Good judgement"

Abbildung 5: Anforderungen an die Risikocharakterisierung nach EPA (2000)

In ihrem „Handbook Risk Characterization“ erörtert die EPA vier Kriterien (siehe Abbildung 5), nach denen die Qualität einer Risikocharakterisierung beurteilt werden kann: Transparenz, Klarheit, Konsistenz und Angemessenheit / Vernünftigkeit (vgl. EPA 2000, S. 14ff.). **Transparenz** meint das Offenlegen der Vorgehensweise bei Risikoabschätzung. D.h. Vorgehensweise, Annahmen und Modelle und Extrapolationen müssen beschrieben werden, Datenlücken müssen identifiziert und Unsicherheiten deutlich gemacht werden. **Klarheit** bezieht sich im wesentlichen auf die Verständlichkeit der Darstellungen. Kriterien sind hier Prägnanz und logischer Aufbau der Darstellung sowie eine verständliche Sprache. Mit **Konsistenz** ist die Übereinstimmung mit etablierten Verfahrensweisen oder Leitlinien für die Risikoabschätzung gemeint. Hier muss deutlich gemacht werden, ob die Schlussfolgerungen, die

⁵⁵ Risk characterization is the summarizing step of risk assessment. The risk characterization integrates information from the preceding components of the risk assessment and synthesizes an overall conclusion about risk that is complete, informative and useful for decision makers. Policy for Risk Characterization, 2000 EPA.

aus der Befundlage gezogen werden, in Übereinstimmung mit den jeweiligen wissenschaftlichen Standards bzw. Verfahrensweisen stehen. Ist dies nicht der Fall, so muss das begründet werden. **Angemessenheit** schließlich ist ein Gesamt-Kriterium, das noch einmal verdeutlicht, wie „vernünftig“ die Bewertung des Risikos ist. Kriterien hierfür sind, dass die Risikocharakterisierung die Zustimmung der relevanten „wissenschaftlichen Gemeinschaft“ findet und dass sie auf den besten verfügbaren Daten und allgemein akzeptierten wissenschaftlichen Erkenntnissen basiert.

Wie schlagen für die Risikocharakterisierung folgende Vorgehensweise vor (siehe nachstehende Tabelle 7).

Tabelle 7: Aufbau der Risikocharakterisierung

Aussagen bei der Risiko- charakterisierung	Erläuterung
Ziel des Gutachtens	Präzise Formulierung der Zielstellung des Gutachtens
Gutachter	Informationen zum Kompetenzprofil der Gutachter
Datenlage	Angabe der Suchkriterien für die Literaturauswahl
Vorgehensweise bei der Risikoabschätzung	Darlegung, auf welche Grundsätze oder Leitfäden der Risikoabschätzung sich das Gutachten stützt
Angabe von Qualitätskriterien für die Bewertung von Studien	Festlegung von Anforderungen an Dosimetrie, Absicherungen gegen Zufallsbefunde, Beurteilung der Sensitivität und Spezifität der Untersuchungsmethoden, Umgang mit Replikation, Bewertung der gesundheitlichen Relevanz der Endpunkte, Beurteilung der ökologischen Validität
Dokumentation der Befunde in den einzelnen Untersuchungsfeldern	Nachvollziehbare Belege: Zentrale Argumente müssen so dargestellt sein, dass der Leser die entsprechenden Belege im Gutachten findet. Vorgehensweise bei der Erstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes – Verdeutlichung der Gewichtung der Studien
Angabe der zentralen Begrenzungen der Aussagekraft des Gutachtens	Zusammenfassende Bewertung der Inkonsistenzen, Unsicherheiten und der Variabilität
Zusammenfassende Aussagen zur Risikoabschätzung	Angabe des Klassifikationsschemas sowie der Prinzipien zur Einordnung des Gesamtbefundes

Die Risikocharakterisierung gliedert sich danach in acht Abschnitte. Alle Abschnitte sind für das Verständnis des zentralen Bewertungssatzes – die zusammenfassende Aussage zur Risikoabschätzung – notwendig. Nur so können Transparenz, Klarheit, Konsistenz und Angemessenheit der Risikocharakterisierung garantiert werden.

Unserer Auffassung nach wird damit auch die Risikokommunikation wesentlich verbessert, die – darauf wurde bereits mehrfach hingewiesen – bislang erhebliche Defizite aufweist.

Erst im sich anschließenden Schritt der **Risikobewertung**, der nicht mehr allein Sache der Wissenschaft ist, weil hierbei politische Wertungen einfließen, sind Entscheidungen über die Leitprinzipien der Bewertung – etwa über die Anwendung des Vorsorgeprinzips – zu treffen. Und erst dann kann über die Auswahl von angemessenen Optionen für das Risikomanagement einschließlich einer ersten Abschätzung der Zielerreichung entschieden werden.

7.3 Vorsorge, Risikoabschätzung und Risikomanagement

Der zentrale Gedanke des Vorsorgeprinzips betrifft den **Umgang mit Unsicherheit**.⁵⁶ Die Kommission der EU stellt dazu in ihrem Arbeitspapier „Wissenschaft, Gesellschaft und Bürger in Europa“ (2000) fest:

„Als Instrument des Risikomanagements ist der Vorsorgegrundsatz die Richtschnur des Verhaltens bei unsicherer wissenschaftlicher Beweisführung. Alles in allem geht es bei den nach dem Vorsorgegrundsatz getroffenen Maßnahmen letztlich darum, die Unsicherheit der wissenschaftlichen Beweisführung so gut es geht zu überbrücken. Die Entscheidung muss sich auf ein möglichst vollständiges, zuverlässiges, genaues und regelmäßig aktualisiertes Wissen gründen.“

In ähnlicher Weise argumentiert der SRU:

„Allerdings hat der Umweltrat stets betont, dass es sich um einen wissenschaftlich plausiblen Verdacht handeln muss, mit anderen Worten, ein lediglich spekulatives Risiko, das auf bloßen Vermutungen beruht, keine Rechtfertigung für staatliche Eingriffe in die Rechte potenzieller Verursacher zur Reduzierung des vermuteten Risikos darstellt. Daran ist festzuhalten.“ (SRU 1999, S. 91)

Unserer Auffassung nach sind bei der Anwendung des Vorsorgeprinzips drei Problemfelder zu beachten: (1) Es geht um die Begründung der Handlungsnotwendigkeit (Besteht ein Anlass zur Vorsorge?), (2) um die Auswahl ange-

⁵⁶ In diesem Sinne führt auch die Kommission der Europäischen Gemeinschaften aus, dass das Vorsorgeprinzip in den Fällen anzuwenden ist,

„in denen die wissenschaftlichen Beweise nicht ausreichen, keine eindeutigen Schlüsse zu lassen oder unklar sind, in denen jedoch aufgrund einer vorläufigen und objektiven wissenschaftlichen Risikobewertung begründeter Anlass zu der Besorgnis besteht, dass die möglicherweise gefährlichen Folgen für die Umwelt und die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen mit dem hohen Schutzniveau der Gemeinschaft unvereinbar sein könnten.“ Kommission der Europäischen Gemeinschaften. Mitteilung der Kommission - die Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips. KOM (2000) 1 endgültig. Brüssel, 2.2.2000, S.10.

messener Maßnahmen (Was kann vernünftigerweise getan werden?) und (3) um die Zielerreichung, d.h. die Sicherstellung angestrebter Schutzziele (Ist das erfolgreich?).

Damit ist festzuhalten, dass das Vorsorgeprinzip über die Risikoabschätzung hinausweist und als Managementansatz weitere Abschätzungen und Bewertungen verlangt.

Begründung der Handlungsnotwendigkeit: Es ist zu prüfen, ob es einen Anlass für die Anwendung des Vorsorgeprinzips gibt. Vermutungen über Risiken reichen nicht aus, um eine wissenschaftlich begründete Entscheidung für Vorsorge zu treffen. Zwei Fragen stehen deshalb im Mittelpunkt:

- Wie viele und welche Hinweise sind für die Begründung eines Verdachts auf ein Risiko vorhanden?
- Sind diese Hinweise stark genug, um das Vorsorgeprinzip in einem konkreten Fall in Kraft zu setzen?

Das heißt, der Verdacht auf ein Gesundheitsrisiko erfordert eine explizite Begründung. Wie groß und begründet dieser Verdacht sein muss, um das Vorsorgeprinzip anzuwenden, und welche Kriterien zur Beurteilung herangezogen werden können, ist jedoch bislang strittig. Auch das Papier der EU-Kommission leistet hierzu keinen Beitrag. Der Hinweis der EU-Kommission (siehe das Zitat aus dem Arbeitspapier "Wissenschaft, Gesellschaft und Bürger in Europa", S. 67), dass Vorsorgeentscheidungen auf ein möglichst **vollständiges, zuverlässiges, genaues** und regelmäßig aktualisiertes **Wissen** gründen müssen (Hervorhebungen von uns) formuliert jedoch Qualitätsanforderungen an Einzelstudien sowie an die Erstellung des wissenschaftlichen Gesamtbildes. Die besondere Gewichtung einzelner Studien mit positiven Befunden – ohne alle weiteren Studien mit anderen Ergebnissen mit in Betracht zu ziehen – ist danach zumindest problematisch. Hier besteht noch erheblicher Klärungsbedarf.

Auswahl von Vorsorgeoptionen: In dem Papier der EU-Kommission (2000) zur Vorsorge werden Kriterien für die Auswahl angemessener Maßnahmen zur Umsetzung von Vorsorge angegeben. Diese Kriterien sollen helfen, Freiheiten und Rechte von Einzelpersonen, Unternehmen und Verbänden einerseits und die Notwendigkeit von Vorsorgemaßnahmen andererseits gegeneinander abzuwägen. Danach sollen entsprechende Maßnahmen

- verhältnismäßig sein, das heißt einem angestrebten Schutzniveau entsprechen;
- diskriminierungsfrei sein und dabei gleiche Sachverhalte gleich sowie unterschiedliche Sachverhalte nicht gleich behandeln;
- abgestimmt sein auf bereits getroffene ähnliche Maßnahmen;
- mittels einer Kosten/Nutzen-Analyse geprüft worden sein, die nicht nur wirtschaftliche Gesichtspunkte umfasst, sondern auch Effizienz und öffentliche Akzeptanz untersucht;

- hinsichtlich neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse überprüft und gegebenenfalls abgeändert werden;
- eine Festlegung erlauben, wer wissenschaftliche Beweise erbringen muss.

Das heißt, jede vorgeschlagene Vorsorgemaßnahme muss nicht nur durch einen wissenschaftlichen Verdacht begründet sein, sie ist auch im Vergleich mit anderen möglichen Maßnahmen zu bewerten.

So muss abgewogen werden, ob und wie der ökonomische Nutzen der Technologien – in unserem Fall Funkanwendungen – sowie die damit verbundenen Rechte Dritter bei der Umsetzung von konkreten Vorsorgemaßnahmen berücksichtigt werden sollen.⁵⁷

Es müssen weiterhin Akzeptanzgesichtspunkte einbezogen werden: Ob die Maßnahmen auch von allen Betroffenen mitgetragen werden und ob sie diskriminierungsfrei sind.

Wer immer auch Vorsorgemaßnahmen vorschlägt, muss diese nach den obigen von der EU-Kommission ausgewiesenen Kriterien bewerten. In der Diskussion um Vorsorgemaßnahmen beim Mobilfunk fehlt jedoch bislang eine solche systematische Bewertung der Angemessenheit von möglichen Vorsorgeoptionen.⁵⁸ In Zukunft muss deshalb stärkeres Gewicht auf einen systematischen Vergleich von Vorsorgemaßnahmen gelegt werden.

Zielerreichung: Ausgewählte Vorsorgemaßnahmen sind außerdem danach zu beurteilen, ob die angestrebten Schutzziele auch durch diese Maßnahmen erreicht werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Maßnahmen immer eine Reihe von Folgen haben können. Zwei Aspekte sind deshalb besonders zu beachten:

- Wird durch die Vorsorgemaßnahme das Gesundheitsrisiko reduziert?
- Hat die Vorsorgemaßnahme nichtintendierte negative Nebenwirkungen?

Für die Bewertung der Wirksamkeit von Vorsorgemaßnahmen, die Vorsorgewerte zur Begrenzung von EMF-Expositionen vorschlagen, sind deshalb eine Reihe von Informationen offenzulegen: (1) Können Schwellenwerte für gesundheitsrelevante Wirkungen begründet werden, wenn ja, welche? (2) Läßt

⁵⁷ In der Empfehlung des Rates der Europäischen Union zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz — 300 GHz) vom 12. Juli 1999 (1999/519/EG) wird darauf verwiesen, dass bei der Entscheidung über Maßnahmen zur Begrenzung der Exposition sowohl mögliche Risiken wie auch Nutzen berücksichtigt werden sollten: „(7) Die Maßnahmen zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern sollten gegenüber anderen Vorteilen auf dem Gebiet der Gesundheit, der Sicherheit am Arbeitsplatz und der öffentlichen Sicherheit abgewogen werden, die Geräte, bei denen elektromagnetische Felder erzeugt werden, für die Lebensqualität, zum Beispiel in den Bereichen Telekommunikation, Energie und öffentliche Sicherheit, mit sich bringen.“

⁵⁸ Erste Ansätze im Themenfeld Mobilfunk sind bei Wiedemann et al. (2001) zu finden.

sich eine Dosis-Wirkungs-Beziehung angeben? (3) Welchen Expositionen sind welche Teile der Bevölkerung ausgesetzt?

Schließlich müssen die Maßnahmen - angenommen ein begründeter Verdacht auf ein Risiko ist vorhanden - darauf hin abgeschätzt werden, für welche Gruppen der Bevölkerung das Risiko in welchem Maße reduziert wird. Das Problem dabei ist, dass es keine sichere Antwort gibt. Deshalb sind Angaben zur Urteilssicherheit einschließlich von darauf bezogenen Begründungen notwendig.

Vorsorgemaßnahmen können auch nichtintendierte negative Nebenwirkungen haben. Beispielsweise könnte durch die Einführung eines Vorsorgewertes ohne entsprechende Aufklärung über die Sicherheit, mit der ein Risiko angenommen werden kann, die Risikoangst vergrößert werden. Deshalb müssen mögliche negative Folgen von Vorsorgemaßnahmen bedacht und abgeschätzt werden.

Die hier nur knapp skizzierten Überlegungen zeigen, dass eine Risikobewertung unter Vorsorge sich von einer Risikobewertung unter Gefahrenabwehr vor allem in drei Aspekten unterscheidet. Zum einen besteht das Problem unvollständiger Information. Eine vollständige und abschließende Risikocharakterisierung ist nicht möglich. Zum anderen müssen beim Risikomanagement – wegen dieser Problematik – in umfassender Weise die Interessen der Beteiligten abgewogen werden und schließlich ist deshalb auch eine kritische Prüfung der Zielerreichung durch die vorgeschlagenen Maßnahmen vorzunehmen.

8. Literatur

- Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit (1999). (Im Internet unter: <http://www.apug.de/doks.html>).
- British Medical Association (2001): Mobile phones and health: An interim report (Im Internet unter: www.bma.org.uk).
- Clarke, M. & Oxman, A.D. (eds.) (2002): Cochrane Reviewers Handbook 4.1.5 [updated April 2002]. In: The Cochrane Library, Issue 2, 2002. Oxford: Update Software. Updated quarterly.
- Cooper, H. & Hedges, L.V. (eds.) (1994): The handbook of research synthesis. New York: Russell Sage Foundation.
- Cranfield, C. G., Wood, A. W., Anderson, V. & Menezes, K. G. (2001). Effects of mobile phone type signals on calcium levels within human leukaemic T-cells (Jurkat cells). Intern. J. Radiation Biology, 77, 1207-1217.
- EPA - United States Environmental Protection Agency (1999): Guidelines for carcinogen risk assessment (Review Draft). U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC.
- EPA - United States Environmental Protection Agency (2000): Risk characterization handbook. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC.
- ICNIRP Guidelines (1998): Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz). Health Physics, April 1998, Volume 74, Number 4, pp. 494-522.
- IEGMP Independent Expert Group on Mobile Phones (2000): Mobile Phones and Health. National Radiological Protection Board, Chilton.
- Imaida, K., Kuzutani, K., Wang, J. Q., Fujiwara, O., Ogiso, T., Kato, K. & Shirai, T. (2001). Lack of promotion of 7,12-dimethylbenz[a]anthracene-initiated mouse skin carcinogenesis by 1.5 GHz electromagnetic near fields. Carcinogenesis, 22, 1837-1841.
- International Agency for Research on Cancer (IARC) (1999): Preamble to the IARC Monographs. IARC Monographs Programme on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (Im Internet unter: <http://193.51.164.11/monoeval/Eval.html>).
- Johansen, C., Boice, J. D., McLaughlin, J. K. & Olsen, J. H. (2001). Cellular Telephones and Cancer - A Nationwide Cohort Study in Denmark. Journal of the National Cancer Institute, 93, 203-207.

- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2000): Mitteilung der Kommission – die Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips. KOM (2000) 1 endgültig. Brüssel, 2. Februar 2000.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2000): Wissenschaft, Gesellschaft und Bürger in Europa. Arbeitsunterlage der Dienststellen der Kommission. Brüssel, den 14. November 2000.
- Maes, A., Collier, M. & Verschaeve, L. (2001). Cytogenetic effects of 900 MHz (GSM) microwaves on human lymphocytes. *Bioelectromagnetics*, 22, 91-96.
- Natarajan, M., Vijayalaxmi, Szilagyi, M. , Roldan, F. N. & Meltz, M. L. (2002). NF-kappa B DNA-binding activity after high peak power pulsed microwave (8.2 GHz) exposure of normal human monocytes. *Bioelectromagnetics*, 23, 271-277.
- National Research Council (1996): Understanding risk. Informing decisions in a democratic society. Washington, DC: National Academy Press.
- Neitzke, H.P. (2001): Mobilfunk: Expositionen, Risiken, Vorsorge. Ecolog-Institut Hannover. (Im Internet unter: www.ecolog-institut.de/grenzwer.htm).
- NHMRC - National Health and Medical Research Council (2000): How to use the evidence: assessment and application of scientific evidence. (Online verfügbar unter: <http://www.nhmrc.health.gov.au/publications/pdf/cp69.pdf>).
- NHMRC - National Health and Medical Research Council (2000a): How to review the evidence: systematic identification and review of scientific literature. (Online verfügbar unter: <http://www.nhmrc.health.gov.au/publications/pdf/cp65.pdf>).
- NHS Centre for Reviews and Dissemination (2001): Undertaking Systematic Reviews of Research on Effectiveness: CRD's Guidance for Carrying Out or Commissioning Reviews (2nd Edition 2001). (Im Internet unter: <http://www.york.ac.uk/inst/crd/report4.htm>).
- Niederländischer Rat für Gesundheit (2000): Mobile telephones. An evaluation of health effects. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2002, publication no. 2001/01E.
- Presidential Commission on Risk Assessment and Risk Management (1997): Framework for Environmental Health Management. Volumes 1 & 2. The Presidential/ Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management. Washington, D.C. (Im Internet unter: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/pcrarm.cfm?ActType=default>).

- Renn, O., Webler, T. & Wiedemann, P.M. (eds) (1995): Fairness and competence in citizen participation: Evaluating models for environmental discourse. Dordrecht: Kluwer.
- Roti Roti, J. L., Malyapa, R. S., Bisht, K. S., Ahern, E. W., Moros, E. G., Pickard, W. F. & Straube, W. L. (2001). Neoplastic transformation in C3H 10T1/2 cells after exposure to 835.62 MHz FDMA and 847.74 MHz CDMA radiations. *Radiation Research*, 155, 239-247.
- Royal Society of Canada (1999): A Review of the Potential Health Risks of Radiofrequency Fields from Wireless Telecommunication Devices. An Expert Panel Report prepared at the request of The Royal Society of Canada for Health Canada. Ottawa, Ontario.
- SRU - Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1999): Umwelt und Gesundheit. Risiken richtig einschätzen. Sondergutachten, August 1999.
- Strahlenschutzkommission (2001): Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern – Empfehlungen der Strahlenschutzkommission. Bonn: SSK.
- Takahashi, S., Inaguma, S., Cho, Y. M., Imaida, K., Wang, J., O., F. & Shirai, T. (2002). Lack of mutation induction with exposure to 1.5 GHz electromagnetic near fields used for cellular phones in brains of Big Blue mice. *Cancer Research*, 62, 1956-1960.
- Tice, R. R., Hook, G. G., Donner, M., McRee, D. I. & Guy, A. W. (2002). Genotoxicity of radiofrequency signals. I. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells. *Bioelectromagnetics*, 23, 113-126.
- Vijayalaxmi, D., Frei, M.R., Dusch S.J., Guel, V., Meltz, M.L. & Jauchem, J.R. (1998). Correction of an error in calculation in the article Frequency of micronuclei in the peripheral blood and bone marrow of cancer-prone mice chronically exposed to 2450MHz radiofrequency radiation (vol 147, pg 495, 1997). *Radiation Research*, 149, 308-308.
- Westermann, R. (2000): Wissenschaftstheorie und Experimentalmethodik: Ein Lehrbuch zur psychologischen Methodenlehre. Göttingen: Hogrefe.
- WHO World Health Organisation (1994): Assessing human health risk of chemicals. Derivation of guidance values for health based exposure limits. WHO, Genf 1994.
- Wiedemann, P.M., Mertens, J., Schütz, H., Hennings, W. & Kallfass, M. (2001): Risikopotenziale elektromagnetischer Felder: Bewertungsansätze und Vorsorgeoptionen. Endbericht für das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. Arbeiten zur Risi-

ko-Kommunikation, Heft 81. Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik des Forschungszentrums Jülich. Jülich, Mai 2001.

ZMIROU-Report (2001): Les Telephones Mobiles, Leurs Stations De Base et la Sante Etat des connaissances et recommandations. Rapport au Directeur Général de la Santé.

9. Glossar

Absorptionsrate: Die im Kopf absorbierte Strahlungsleistung. Sie wird im Labor gemessen oder mit Hilfe von Computersimulationen berechnet; vgl. SAR.

Adrenalin: Ist eine Botensubstanz, die sowohl als Neurotransmitter wie auch als Hormon wirkt. Neurone, die Adrenalin speichern sind adrenerge Neuronen. Wenn diese als Gesamtes gemeint sind, spricht man vom adrenergen System.

Adrenocorticotrope Hormone (ACTH): Stellt ein Hormon des Hypophysenvorderlappens dar und steuert andere endokrine Drüsen. Ist in die Kortisol-freisetzung involviert. vgl. Hypothalamische-Hypophysen-adrenaler Regelkreisaktivität.

Alzheimer-Krankheit: eine Erkrankung des Gehirns (degenerative Veränderung), in deren Verlauf sich zunächst Gedächtnisstörungen, später auch Orientierungs- oder Sprachstörungen sowie Persönlichkeitsveränderungen u.ä. zeigen. Es gibt zwei Formen eine präsenile Demenz (ab ca. 50 Jahren), die genetisch determiniert ist und die häufigere senile Demenz (ab ca. 65 Jahren), deren genaue Ursache nicht bekannt ist. vgl. Neurodegenerative Erkrankung bzw. Demenzen.

Assay: Ein Assay ist ein Testverfahren, um die Menge bestimmter Komponenten einer Mischung oder einer biologischen oder pharmakologischen Potenz einer Substanz (Droge) zu bestimmen.

Bereitschaftspotential: Aktivitäten im Gehirn, die in Form von Hirnpotentialen kurz vor einer Handlung wie z.B. einer Bewegung auftreten.

26. BImSchV: 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Verordnung über elektromagnetische Felder. Hier sind seit dem 1. Januar 1997 die von der Strahlenschutzkommission bzw. der ICNIRP empfohlenen Werte als bundesweit verbindliche Grenzwerte für elektrische und magnetische Feldstärken in der Umgebung von Stromversorgungsanlagen (z.B. Hochspannungsleitungen, Bahnstromleitungen) sowie für Funksendeanlagen (einschließlich des Bereiches der Mobilfunkfrequenzen) festgeschrieben.

Blut-Hirn-Schranke: Die Blut-Hirn-Schranke ist eine selektiv durchlässige Schranke zwischen Blut und der Hirnsubstanz und kontrolliert den Stoffaustausch mit dem Zentralen Nervensystem (ZNS). Sie ist geformt aus Blutgefäßen und Gliazellen des Gehirns und verhindert, dass bestimmte schädliche Substanzen aus dem Blut in das Nervengewebe eindringen können.

Cholinerges System: Neurotransmittersystem von Acetylcholin (Ach), welches sowohl im autonomen wie auch im zentralen Nervensystem u.a. beim Gedächtnis eine zentrale Rolle spielt.

Chromosomen sind Erbkörperchen bzw. sichtbare Träger der Erbmasse. Sie sind intensiv färbbare, faden- oder streifenförmige Bestandteile des Zellkerns. Auf den Chromosomen sind die Gene (Erbanlagen) linear angeordnet (vgl. DNA, Gen).

Chromosomen-Mutation: vgl. DNA-Mutation.

Chromosomen-Aberrationen: Abweichung von der normalen Chromosomenzahl (44 Autosomen und 2 Gonosomen) oder die strukturelle Abweichung einzelner Chromosomen.

DNA / Desoxyribonukleinsäure: Die DNA bildet bei den meisten Lebewesen das genetische Material. Sie liegt meistens als Doppelstrang vor, der aus zwei Polynukleotid-Ketten mit entgegengesetzter Polarität besteht. Man nennt dieses Gebilde auch Doppelhelix. Die DNA ist hauptsächlich im Zellkern (Nukleus) und dort in den Chromosomen lokalisiert. Die DNA hat zwei Funktionen: (1) Träger der genetischen Informationen (2) Fähigkeit zur Replikation. (Vgl. Gen, Gen-Transkription, Gen-Translation, DNA-Replikation, Chromosome).

DNA-Brüche (Doppelstrangbrüche/Einzelstrangbrüche): Einzelne Segmente der DNA sind beschädigt.

DNA-Mutation: Unter einer Mutation versteht man eine erbliche Änderung in der Form, der Qualität oder anderer Charakteristika. Von einer Genmutation spricht man, wenn eine Änderung im genetischen Material vorliegt. Von einer DNA-Mutation spricht man, wenn eine Änderung der Basensequenzen der DNA vorliegt. Von einer Chromosomen-Mutation spricht man, wenn eine Änderung von Chromosomen vorliegt.

DNA-Reparatur: beschreibt die Entfernung von beschädigten Segmenten von einem oder beiden Strängen und die korrekte Resynthese dieser Segmente.

DNA-Replikation: Weitergabe der genetischen Information durch identische Vermehrung (= Replikation) der DNA.

EEG = Elektroenzephalogramm: Stellt die Aufnahme der elektrischen Aktivitäten von Nervenzellen im Gehirn dar. Als Ergebnis ist ein Kurvenbild (Hirnstrombild) des zeitlichen Verlaufs der die Gehirnaktivitäten begleitenden langsamen elektrischen Erscheinungen sichtbar. Die Frequenzen der wiedergegebenen Hirnpotentiale bewegen sich zwischen 1 und 30 Hz mit einer Amplitude zwischen 20 und 100 μ V. Es können vier charakteristische Frequenzbänder unterschieden werden: Alpha (8-13 Hz), Beta (13-30 Hz), Delta (0.5-4 Hz) und Theta (4-7 Hz).

Elektrisches Feld: Ein elektrisches Feld entsteht überall dort, wo aufgrund getrennter Ladungsträger eine Potentialdifferenz, d.h. eine elektrische Spannung, vorhanden ist. Dies ist auch dann der Fall, wenn kein Strom fließt. Die Stärke des elektrischen Feldes nimmt mit zunehmender Spannung zu und mit zunehmendem Abstand von der Quelle ab.

EMF: allgemeine Bezeichnung für das gesamte Spektrum elektrischer und magnetischer Felder.

Endokrines System / Endokrinologie: Die Endokrinologie ist die Lehre von der Funktion von endokrinen Drüsen und Hormone. Mit dem endokrinen System ist das Hormonsystem gemeint. Neben dem neuronalen System stellt das endokrine System die zweite Informationsleitung vom Gehirn dar. Endokrines und neuronales System sind eng miteinander verknüpft. Deshalb spricht man häufig auch vom *Neuroendokrinen System*. Wichtige Schnittstellen zwischen beiden Systemen sind z.B. Hypothalamus oder Hypophysenhinterlappen.

Endokrine Drüsen: Drüsen sind Organe aus epithelialen Zellen, die Wirkstoffe (= Sekrete) bestimmter chemischer Zusammensetzung und physiologischer Bedeutung bilden und diese entweder nach aussen (Haut, Schleimhaut) absondern (= exokrine Drüsen mit äußerer Sekretion) oder als Hormone (= Inkrete) direkt an das Gefäßsystem abgeben (= endokrine Drüsen mit innerer Sekretion).

Endogene Opiode: Körpereigene Opiate, die bei der Schmerzmodulation eine zentrale Rolle spielen.

Endpunkte: Sind die in einer Untersuchung interessierenden Veränderungen oder Krankheiten.

Enzyme: Proteine, die als Katalysatoren chemische Reaktionen ohne Beeinflussung ihres Gleichgewichtes in lebenden Organismen beschleunigen.

Epidemiologie: Die Epidemiologie ist die Wissenschaft von der Verteilung von Krankheiten in der Bevölkerung und von den Faktoren, die diese Verteilungen beeinflussen.

Fallzahlen: Anzahl der in einer Untersuchung erfassten oder verwendeten Untersuchungseinheiten (Tieren, Versuchspersonen etc.).

Feldstärke: Stellt das Maß für die Stärke eines elektromagnetischen Feldes dar. Für das elektrische Feld wird sie in Volt pro Meter (V/m) und für das magnetische Feld in Ampere pro Meter (A/m) angegeben.

Follikelstimulierendes Hormon (FSH): Wichtiges Hormon des Hypophysenvorderlappens, das andere Drüsen steuert.

Gen: Ein Gen wird als Träger von Erbinformationen bzw. von Erbanlagen definiert (vgl. DNA, Genexpression, DNA-Replikation).

Genexpression beschreibt die Produktion eines Genproduktes aus einem Gen wie z.B. ein Protein oder die RNA. (vgl. Gen, DNA).

Gen-Mutation: Bei der Mutation handelt es sich um eine Änderung der Basensequenzen der DNA.

Gen-Transkription und Gen-Translation: Die Synthese von Genprodukten (z.B. Proteine) erfolgt in zwei Teilschritten: (1) Transkription und (2) Translation: Die Transkription stellt die Synthese bzw. die Nachbildung der RNA aus der DNA dar. Die Translation beschreibt die direkte Synthese von Proteinen aus mRNA.

Glukokortikoide: Ist ein Sammelbegriff für folgende drei Hormone der Nebennierenrinde (NNR): Kortisol, Kortison, Kortikosteron. Glukokortikoide werden zur Gruppe der Steroidhormone der NNR gezählt.

GSM steht für „Global System for Mobile Communications“ und ist ein Standard in der mobilen Telekommunikation. Er beinhaltet die Definition der Frequenzbänder (in Europa um 900 und 1800 MHz) sowie die Protokolle für die Signalübertragung.

Hirnpotentiale: Stellt ein Gebiet im Gehirn mit erhöhtem Energieverbrauch dar, welche als Hinweis auf Hirnaktivitäten gewertet werden kann.

Hormone: Hormone lassen sich als chemisch eindeutige Substanzen definieren, die von den endokrinen Drüsen oder drüsenähnlichen Zellen zur Informationsübermittlung freigesetzt werden. Als typische Hormone, die in Stressreaktionen des Körpers involviert sind, können z.B. adrenocorticotrope Hormone (ACTH), Cortisol oder Adrenalin genannt werden.

Hippocampus: Kortikale Struktur im basalen mesialen Teil des Temporallappens und spielt bei Gedächtnisfunktionen und beim Lernen eine zentrale Rolle.

Hypophyse: Ein kleines Hirnareal unterhalb des Hypothalamus. Die Hypophyse besteht aus zwei Lappen. Der Hypophysenhinterlappen (HHL) und Hypophysenvorderlappen (HVL). Durch einen komplizierten Blutfluss zwischen Hypothalamus und HVL erreichen die, im Hypothalamus in kleinen Mengen gebildeten Releasing-Hormone den HVL und stimulieren dort die Sekretion der Hypophysenhormone, die wiederum entsprechende Drüsen stimulieren.

Hypothalamus: Kleines Hirnareal bestehend aus verschiedenen Nervenzellkernen. Reguliert autonome, endokrine und viszerale Funktionen und spielt eine zentrale Rolle im Neuroendokrinen System. Der Hypothalamus hat verschiedene Funktionen wie z.B. Homöostase, Emotionen, Durst, Hunger, circadianer Rhythmus sowie Kontrolle des autonomen Systems involviert. Der Hypothalamus kontrolliert die Hypophyse und dadurch die Sekretion verschiedener Hormone wie z.B. Kortisol.

Hypothalamische-Hypophyse-Adrenale-Regelkreisaktivität: Es gibt eine geschlossene Verbindung zwischen Hypothalamus – Hypophyse – Nebennierenrinde. Dieser spielt bzgl. der Cortisol-Freisetzung eine zentrale Rolle. Jeder Cortisol-Freisetzung in der Nebennierenrinde geht die ACTH-Freisetzung aus dem Hypophysenvorderlappen voraus. Die Modulation der ACTH-Freisetzung wird durch hypothalamische Hormone (Corticotropin-Releasing-Hormon (CRH)) gesteuert. Im Sinne einer Rückkopplungshemmung wirkt ebenfalls Cortisol-Sekretion auf die ACTH-Freisetzung ein. Die CRH-

Freisetzung des Hypothalamus wird u.a. durch adrenerge Neurotransmittersysteme des Gehirns stimuliert. vgl. Kortisol, ACTH.

Inzidenz: Häufigkeit des Auftretens einer Krankheit innerhalb eines best. Zeitraums (z.B. eines Jahres), unabhängig davon, ob die Erkrankung zu Ende der Zeitperiode noch besteht oder nicht.

Kalzium-Homöostase / Ca^{2+} -Efflux: Die Kalzium-Homöostase – bzw. die Aufrechterhaltung einer gleichmäßigen Kalziumkonzentration in der Zelle – ist für die Regulierung zellulärer Prozesse von großer Bedeutung. Kalzium reguliert den Zellaustausch bzw. die Interaktion zwischen Zellen bei der Übermittlung von Informationen. Der Kalzium-Fluß ist also wichtig für die Informationsweiterleitung.

Kanzerogenese / Karzinogenese: Entstehung maligner (bösartiger) Tumoren. → Karzinogene: Substanzen bzw. Faktoren, die beim Menschen oder im Tierversuch die Inzidenz (Anzahl der Neuerkrankungen) maligner Tumoren erhöhen, die Latenzzeit der Karzinogenese verkürzen oder das Tumorspektrum in einem Gewebe verändern können.

Kardiovaskuläres System: System von Herz- und Blutgefäßen, welches Blut durch den ganzen Körper zirkulieren lässt.

Kohortenstudien: Durch Aneinanderreihung z.B. verschiedener Altersgruppen (= Kohorten) erhält man einen fiktiven Längsschnitt.

Konfidenzintervalle: Ein Konfidenzintervall kennzeichnet denjenigen Bereich eines Merkmals, in dem sich 95% (bzw. 99%) aller möglichen Populationsparameter befinden, die den empirisch ermittelten Stichprobenkennwert erzeugt haben können.

Konsistente Hinweise: Das Ecolog-Institut spricht von konsistenten Hinweisen, „wenn (starke) Hinweise aus unterschiedlichen Untersuchungsansätzen mit gleichem Endpunkt vorliegen“ (<http://www.ecolog-institut.de/grenzwert.htm>).

Kortikoide: Ist ein Hormon und wird zur Gruppe der Steroidhormone der Nebennierenrinde gezählt.

Kortikosteron: vgl. Glukokortikoide .

Kortisol: Ist ein Hormon und gehört zu den Glukokortikoiden der Nebennierenrinde (NNR). Kortisol ist der wichtigste Vertreter der NNR-Hormone und spielt eine wichtige Rolle bei Stressreaktionen.

Leistungsflussdichte: Die Stärke der von einer Quelle ausgehenden Felder können durch die Leistungsflussdichte (Intensität) angegeben werden. Die Einheit wird in Watt pro Quadratmeter (W/m^2) ausgedrückt; Abk.: S.

Luteinisierende Hormone (LH): Wichtiges Hormon des Hypophysenvorderlappens, das andere Drüsen steuert.

Makro-thermischer Effekt: (auch allgemein einfach als "thermisch" bezeichnet) - ein Effekt, der auftritt mit einer meßbaren Erhöhung der Temperatur im Versuchsgefäß bzw. bei in-vivo-Versuchen mit einer meßbaren Erhöhung der Körpertemperatur. Dagegen bezeichnet man als **mikro-thermisch** solche Effekte, die ohne diese meßbaren Veränderungen auftreten (deshalb mitunter auch unter die „nicht-thermischen“ Effekte subsumiert werden), bei denen jedoch nicht auszuschließen ist, dass lokale Erwärmungen („*hot spots*“) und schnelle Prozesse der Weiterleitung der absorbierten Wärmeenergie auftreten.

Magnetisches Feld: Ein magnetisches Feld entsteht überall dort, wo elektrische Ladungen bewegt werden, d.h. wo ein elektrischer Strom fließt. Die Einheit der magnetischen Feldstärke ist Stromstärke (gemessen in Ampere) pro Meter (A/m) oder, angegeben als magnetische Induktion, Tesla (T). Die magnetische Induktion ist proportional der magnetischen Feldstärke (1 A/m entspricht in Luft 1.257 μ T). Die Stärke des Magnetfeldes nimmt mit zunehmender Stromstärke zu und mit zunehmendem Abstand von der Quelle ab.

Melatonin: Dieses Hormon ist das Hauptsekretionsprodukt der Epiphyse (Zirbeldrüse) und spielt z.B. beim Schlaf-Wach-Rhythmus eine Rolle.

Membranpotential: Zwischen Zellinnern und extrazellulärer Flüssigkeit (= 0mV) besteht eine elektrische Potentialdifferenz. Da diese unmittelbar an der Membran auftritt, wird sie auch Membranpotential genannt.

Mikrokerne sind Chromosomenbruchstücke oder ganze Chromosomen, die durch clastogene (chromosomenbrechende) Agenzien in proliferierenden Zellen induziert werden können. Sie werden nach der Zellteilung nicht in den Zellkern integriert, sondern verbleiben im Zellplasma. Der Mikrokerntest ist somit ein Kurzzeit-Test zum Nachweis einer Chromosomenschädigung oder einer Schädigung des Mitoseapparates in vivo.

Mikro-thermischer Effekt: siehe Makro-thermischer Effekt.

Naloxon: Ist ein Opiatantagonist (Morphinantagonist) und hemmt effektiv Opiataktivitäten.

Neurodegenerative Erkrankungen bzw. Demenzen: Damit sind erworbene, länger anhaltende Beeinträchtigungen höherer Hirnfunktionen wie Sprache, Gedächtnis, Verhalten und Affekt oder Kognitionen gemeint. Die häufigste Demenz stellt die degenerative **Alzheimererkrankung** dar, deren genaue Ursache bisher nicht geklärt ist.

Neuron / Nervenzelle: Zelle des Nervengewebes. Besteht aus Zellkörper (Perikaryon), Zellkern (Nucleus), Axon sowie Fortsätzen (Dendrite). Sie bildet eine genetische, morphologische, funktionelle, trophische und regenerative Einheit.

Neurotransmitter: Neurotransmitter sind chemische Substanzen, die an den Synapsen im Zentralen Nervensystem und peripheren Nerven eine Erregung weiterleiten. Beispiele für klassische Neurotransmitter sind Dopamin, Nor-

Adrenalin, Adrenalin, Serotonin, Glutamat, GABA oder Acetylcholin. Einige Neurotransmitter wie z.B. Dopamin, Noradrenalin oder Adrenalin sind auch klassische Hormone.

Nichtionisierende Strahlung: Elektromagnetische Felder, die keine Ionisationsvorgänge auslösen können, werden als nichtionisierend definiert. Im Gegensatz dazu können ionisierende Strahlen (= radioaktive Strahlen) zu einer Schädigung des Zellmaterials führen, indem Elektronen aus dem Molekularverband der Zelle entfernt werden.

Primärstudien: Studien, die direkt experimentelle bzw. empirische Untersuchungen zum Gegenstand haben.

Physostigmin: Hemmt das cholinerge System bzw. die Freisetzung von Acetylcholin.

Prolaktin (PRL): Hormon des Hypophysenvorderlappens. Spielt eine Rolle beim Schlaf und bei Stresssituationen.

Pulsung / Gepulstes Feld: bezeichnet ein hochfrequentes Feld, das in einem bestimmten Rhythmus an- und abgeschaltet wird.

REM-Schlaf: „Phasen, die von schnellen Augenbewegungen begleitet werden, den Rapid Eye Movements (REM), werden als REM-Phase bezeichnet. In der REM-Phase zeigt das EEG eine verstärkte Aktivität an, gleichzeitig ist aber der Muskeltonus stark herabgesetzt. In dieser Phase wird häufig geträumt. Das ist ein weiterer Hinweis auf die starke Aktivität des zentralen Nervensystems. Der Schläfer lässt sich in dieser Phase leicht aufwecken.“ (Quelle: <http://www.medizininfo.de/kopfundseele/schlafen/schgesund.htm>).

SAR: SAR ist die Abkürzung für die spezifische Absorptionsrate. Sie stellt die absorbierte Energie im Körper pro Zeiteinheit und Körpergewicht dar. Die Einheit wird in Watt pro Kilogramm (W/kg) ausgedrückt.

Schlaf-EEG / Wach-EEG: EEG-Messungen können im Schlaf (=Schlaf-EEG) oder im Wachzustand (=Wach-EEG) durchgeführt werden. Beim Schlaf-EEG handelt es sich um die Abbildung der typischen Schlafarchitektur mit typischen Frequenzbänder. Vgl. EEG

Sinnesrezeptoren: Sensorische Rezeptoren nehmen Signale und Informationen (Temperatur, Geruch, Schmerz etc.) aus der Umwelt und dem Körper wahr und leiten sie weiter ins Zentrale Nervensystem (ZNS).

Spindelapparat: Proteinstruktur im Zytoplasma der Zelle während der Mitose (indirekte Kernteilung).

Spektrale Leistungsdichte: Bezeichnet die Verteilung der mittleren Leistung eines Signals in Abhängigkeit von der Frequenz. (<http://www.talessin.de/medinf/medtech/biosig5.html>).

Temporallappen: Der Kortex wird durch starke Furchen in der Oberfläche in vier Lappen unterteilt. Einer davon ist der Temporallappen. Er beinhaltet den Hippocampus, welcher beim Gedächtnis eine tragende Rolle spielt.

Teratogenese: Die Entstehung von Fehlbildungen. → Teratogenität: Grundsätzliche Fähigkeit oder Eigenschaft eines Agens, bei Einwirkung einer ausreichenden Dosis eine Fehlbildung (grobstrukturelle Abnormität) auszulösen.

Thymidin: In der Praxis benutzter Begriff für Nukleosid–Thymine und stellt ein Baustein für die DNA-Synthese dar (vgl. DNA-Reparatur).

Thyrotropin (TSH): Hypophysenhormon. Wird durch Hypothalamische Thyrotropin-Releasing Hormone (TRH) beeinflusst und steuert die Schilddrüsenfunktion. Es stellt das Schlüsselhormon im geschlossenen Regelkreis zwischen Hypothalamus – Hypophyse – Schilddrüse dar.

Vigilanz: Aufrechterhaltung einer bestimmten Aktivität für einen längeren Zeitraum, meist verbunden mit willkürlicher Aufmerksamkeit (Quelle: Arnold et al. 1976: Lexikon der Psychologie, Bd. 3).

Wachstumshormon (GH): Wichtiges Hormon des Hypophysenvorderlappens, das eine direkte Wirkung auf den Stoffwechsel hat. Aktiviert wird die GH-Sekretion durch Schlaf, körperliche Aktivität oder Stress.

Zellkommunikation: Weiterleitung von Informationen von einer Zelle zur nächsten.

Zellproliferation: Wucherung von Zellen, beschleunigte Zellvermehrung.