

Bewertung der wissenschaftlichen Literatur
zu den Risikopotenzialen von
hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks

Teil 1
Darstellung und Diskussion der Themenfelder

April 2005

Peter M. Wiedemann
Holger Schütz
Albena Spangenberg

Forschungszentrum Jülich GmbH
Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik
52425 Jülich

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	5
2. Zusammenfassung.....	7
3. Einleitung.....	9
4. Projektablauf	9
4.1 Auswahl der Gutachter und beratenden Experten.....	10
4.2 Erstellung der Gutachten	11
4.3 Workshops.....	12
5. Darstellung und Diskussion der Themenfelder.....	14
5.1 Genotoxische Effekte.....	15
5.1.1 Erkenntnisstand im Jahr 2000	15
5.1.2 Ergebnisse des Gutachtens und Diskussion	16
5.1.3 Schlussfolgerung	19
5.1.4 Verbleibende Unsicherheit.....	20
5.1.5 Einschätzung durch MUT	20
5.2 Tierexperimentelle Studien Krebs.....	21
5.2.1 Erkenntnisstand im Jahr 2000	22
5.2.2 Ergebnisse des Gutachtens und der Diskussion	22
5.2.3 Schlussfolgerung	24
5.2.4 Verbleibende Unsicherheit.....	25
5.2.5 Einschätzung durch MUT	25
5.3 Epidemiologie Krebs.....	25
5.3.1 Erkenntnisstand im Jahr 2000	26
5.3.2 Ergebnisse des Gutachtens und der Diskussion	27
5.3.3 Schlussfolgerung	31
5.3.4 Verbleibende Unsicherheit.....	31
5.3.5 Bewertung durch MUT.....	32

5.4	ZNS / kognitive Funktionen / Schlaf	32
5.4.1	Erkenntnisstand im Jahr 2000	33
5.4.2	Ergebnisse der Gutachten und der Diskussion.....	34
5.4.3	Einschätzung durch MUT	41
5.5	Befindlichkeitsstörungen.....	41
5.5.1	Erkenntnisstand im Jahr 2000	42
5.5.2	Ergebnisse der Gutachten und der Diskussion.....	42
5.5.3	Einschätzung durch MUT	51
5.6	Blut-Hirn-Schranke	53
5.6.1	Erkenntnisstand im Jahr 2000	54
5.6.2	Ergebnisse des Gutachtens und der Diskussion	54
5.6.3	Schlussfolgerung	56
5.6.4	Einschätzung durch MUT	56
6.	Zusammenfassende Diskussion.....	57
6.1	Schritte der Risikoanalyse	57
6.2	Datenlage	59
6.3	Zusammenfassung der Gutachterbewertungen.....	60
6.4	Bewertung des Gefährdungspotenzials durch MUT	61
6.5	Vergleich mit der SSK-Bewertung von 2001.....	63
6.6	Schlussfolgerungen für künftige Risikodialoge	65
7.	Literatur	69
8.	Glossar	81

1. Vorwort

Die vorliegende Studie dokumentiert einen Dialog zwischen Wissenschaftlern, dessen Ziel es war, für den Bereich „Mobilfunk und Gesundheit“ eine Risikobewertung zu erstellen.

Als Gutachter haben daran teilgenommen: PD Dr. Peter Achermann, Prof. Dr. Maria Blettner, Prof. Dr. Clemens Dasenbrock, Prof. Dr. Thomas Eikmann, Dr. Rudolf G. Fitzner, Dr. Richard Gminski, Prof. Dr. Konstantin-Alexander Hossmann, Prof. Dr. Karl-Heinz Jöckel, Prof. Dr. Alexander Lerchl, Dipl. Psych. Sabine Regel, Dr. Martin Röösl, Prof. Dr. Andreas Stang, Dr. Dr. Kathrin Schlatterer, Dr. Heike Seitz, PD Dr. Myrtill Simkó, Dr. Doris Stinner, Prof. Dr. Florian Stögbauer und Dr. Peter Ullsperger.

Als beratende Experten waren außerdem beteiligt: Prof. Dr. Wolfgang Dekant, Prof. Dr. Rainer Meyer, Prof. Dr. Wolfgang-Ulrich Müller, Prof. Dr. Dr. Heiner Raspe, Prof. Dr. Thomas Penzel und PD Dr. Gerhard A. Wiesmüller.

Die Programmgruppe Mensch Umwelt Technik des Forschungszentrums Jülich, die diesen Dialog moderierte, hat die Gutachten und Diskussionen zusammengefasst. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der verständlichen Charakterisierung der Befunde und der Folgerungen für die Einschätzung des Zusammenhangs von Mobilfunk und Gesundheit. Der vorliegende Bericht soll der Öffentlichkeit und der Politik helfen, die wissenschaftliche Befundlage sowie die Risikobeurteilung besser nachvollziehen zu können.

Wir haben versucht, den vorliegenden Text so verständlich wie möglich zu schreiben, obwohl wir wissen, dass wir dieses Ziel nicht immer erreichen können. Für alle Leser, die mit den im Text verwendeten Fachbegriffen nicht vertraut sind, findet sich im Anhang ein Glossar.

Wir danken allen Beteiligten für ihr außerordentliches Engagement. Wir danken auch der T-Mobile Deutschland, die diese Studie finanziell unterstützt hat.

Peter Wiedemann

Holger Schütz

Albena Spangenberg

2. Zusammenfassung

Verfahren und Ergebnisse des Risikodialogs zu Mobilfunk und Gesundheit

Die Programmgruppe Mensch Umwelt Technik (MUT) des Forschungszentrums Jülich hat vom September 2003 bis zum April 2005 einen wissenschaftlichen Dialog durchgeführt. Ziel war es, für den Bereich „Mobilfunk und Gesundheit“ ein Dialogverfahren zur transparenten Risikobewertung zu entwickeln.

Als Gutachter oder Berater konnten 25 Fachexperten aus Deutschland und der Schweiz gewonnen werden, die sich durch eigene Forschungsarbeiten ausgewiesen hatten. Die Auswahl der Experten durch die Jülicher Programmgruppe sollte sicherstellen, dass das Spektrum unterschiedlicher Expertenmeinungen zu jeder Fragestellung vertreten war. Sechs Themenfelder standen im Mittelpunkt des Risikodialogs:

- (1) Genotoxische (erbgutschädigende) Effekte durch hochfrequente elektromagnetische Felder,
- (2) tierexperimentelle Studien zu Krebs,
- (3) epidemiologische Studien zu Krebs,
- (4) Auswirkungen auf das zentrale Nervensystem sowie auf kognitive Funktionen und Schlaf,
- (5) Befindlichkeitsstörungen und
- (6) Auswirkungen auf die Blut-Hirn-Schranke.

Zu jedem dieser Themen wählten mindestens zwei Experten, die selbst auf dem betreffenden Gebiet forschen, die wichtigsten Studien aus und bewerteten deren Ergebnisse. Betrachtet wurden Forschungsarbeiten aus den Jahren 2000 bis 2004. Für jedes Themenfeld wurde ein Workshop mit den Gutachtern und weiteren beratenden Fachleuten durchgeführt. Abschließend diskutiert wurden die Ergebnisse auf einem gemeinsamen Workshop.

Hiermit liegt nun eine Bewertung zu sechs wichtigen Themenfeldern im Bereich „Mobilfunk und Gesundheit“ vor. Diese Bewertung beruht auf einem breiten Expertenwissen und macht ihre Bewertungsregeln klar und deutlich. Nur eine solche transparente und ausgewogene Darstellung bietet die Voraussetzung dafür, dass sich auch Nicht-Experten ein eigenes risikomündiges Urteil bilden können.

Die Ergebnisse

Die Ergebnisse des Dialogs betreffen zum einen Verfahrensfragen, zum anderen beziehen sie sich auf Ergebnisse dieser Verfahren, d.h. auf Bewertungen.

Zuerst zu den Verfahren, die MUT für die Risikobewertung weiterentwickelt hat. Dazu gehören die Anlage eines Risikodialogs sowie Instrumente zur Charakterisierung der Bewertungen von Studien.

Die wichtigste Neuerung ist dabei das sogenannte Evidenzschema, das eine transparente Zusammenfassung der Argumentation der Experten bietet. Denn nach wie

vor ist die Zusammenfassung von Einzelstudien zu einer Gesamtbewertung von deren Interpretationen abhängig. Es ist auch nicht verwunderlich, dass hierbei subjektive Bewertungsmaßstäbe einfließen, da es keine eindeutigen Regeln dafür gibt, wie in Anlage und Ausführung sehr unterschiedliche Studien mit zum Teil widersprüchlichen Ergebnissen zu einem Gesamtbild zusammenzufassen sind.

Für diese Schwachstelle der Risikobewertung hat MUT das Evidenzschema entwickelt, mit dem die wesentlichsten Argumente für sowie gegen einen Risikoverdacht, die Schlussfolgerungen der Gutachter und die verbleibenden Unsicherheiten besser nachvollzogen werden können.

Inhaltlich konnten durch das Dialogverfahren in einigen Bereichen Klärungen erzielt werden. In anderen Bereichen bleiben Widersprüche und Unklarheiten bestehen, die Forschungsbedarf anzeigen. So geben - nach Einschätzung der Gutachter - die vorliegenden Studien keinen Hinweis darauf, dass hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks in Tierversuchen Krebs verursachen oder das Krebswachstum fördern. Auch die Untersuchungen zur Blut-Hirn-Schranke finden keine Hinweise auf Effekte durch elektromagnetische Felder des Mobilfunks.

Weiterhin stellen die Gutachter fest, dass die experimentell gefundenen Wirkungen des Mobilfunks auf das zentrale Nervensystem ohne erkennbare Nachteile für die Gesundheit sind. Gleiches gilt für die Hinweise auf Erbgut-Schäden. Da daraus keine Schädigung der Zellen resultierte, kann nach Meinung der Gutachter aus den Ergebnissen keine Gefährdung der Gesundheit abgeleitet werden.

Für die meisten Befindlichkeitsstörungen – ausgenommen ist der Kopfschmerz – ist die Befundlage aus Sicht der Gutachter so schwach, dass eine Bewertung kaum möglich ist. Allerdings deuten aus ihrer Sicht die wenigen vorhandenen Untersuchungsergebnisse nicht auf einen Zusammenhang mit HF EMF Exposition hin. Zwar sehen die Gutachter einen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen Kopfschmerz und Handynutzung. Es bleibt jedoch unsicher, ob damit tatsächlich ein Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern und Kopfschmerz vorliegt, Ursache könnte auch bloßer Telefonstress sein.

Die Frage einer besonderen Empfindlichkeit (Elektrosensibilität) von Personen gegenüber den EMF des Mobilfunks konnte nicht abschließend geklärt werden. Zwar finden sich in den Untersuchungen keine Befunde, die für eine solche besondere Empfindlichkeit sprechen, sie kann aber auch nicht sicher ausgeschlossen werden. Aus dem gleichen Grund kann auch nicht beurteilt werden, ob sich bei kranken Personen möglicherweise Wirkungen ergeben können.

Die Befunde der epidemiologischen Untersuchungen zu Krebs sind zum Teil widersprüchlich. Deshalb kommen die Gutachter zu unterschiedlichen Bewertungen: Einerseits zu der Einschätzung, dass ein krebsfördernder Effekt eher nicht zu erwarten ist, andererseits zu dem Urteil, dass es einen vagen Anfangsverdacht gibt. Die Wissenschaftler waren sich aber einig, dass nach wenigen Jahren der Handynutzung noch keine erhöhten Tumorrisiken zu erwarten sind.

Insgesamt erhärtet sich im Hinblick auf die sechs untersuchten Bereiche die Hypothese nicht, dass EMF des Mobilfunks gesundheitsschädliche Wirkungen haben.

3. Einleitung

Die Programmgruppe Mensch Umwelt Technik (MUT) des Forschungszentrums Jülich hat im Sommer 2003 begonnen, einen wissenschaftlichen Dialog zur Risikobewertung des Mobilfunks durchzuführen. Dieses Projekt wurde durch die T-Mobile gefördert und baut auf den Ergebnissen des ersten Risikodialoges „*Mobilfunk und Gesundheit – Risikobewertung im wissenschaftlichen Dialog*“ auf, den MUT 2001-2002, durchgeführt hat (siehe Wiedemann, Schütz & Thalmann 2003).

Anders als im ersten Risikodialogprojekt, in dem der Dialog erst nach Fertigstellung der Gutachten begann, startet der neue Dialog schon mit der Auswahl der Gutachter und umfasst somit alle Schritte der Gutachtenerstellung bis hin zur Abschlussdiskussion.

Gegenstand des Projekts sind die neuen wissenschaftlichen Untersuchungen, die in den Jahren 2000 bis 2004 zu biologischen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder (HF-EMF) des Mobilfunks durchgeführt wurden. Sechs Themenfelder, die in der wissenschaftlichen – aber auch in der öffentlichen – Diskussion zur Zeit besondere Beachtung finden, stehen im Mittelpunkt:

- Genotoxische Effekte durch hochfrequente elektromagnetische Felder
- Tierexperimentelle Studien zu Krebs durch hochfrequente elektromagnetische Felder
- Epidemiologische Studien zu Krebs durch hochfrequente elektromagnetische Felder
- Auswirkungen von Mobilfunkfeldern auf das Zentralnervensystem im Wach- und Schlafzustand
- Befindlichkeitsstörungen durch hochfrequente elektromagnetische Felder
- Auswirkungen von Mobilfunkfeldern auf die Blut-Hirn-Schranke

Ziel des Projekts ist es, das von uns (Wiedemann et al. 2003) vorgestellte Risikodialogverfahren weiterzuentwickeln sowie aufzuzeigen, wie Expertinnen und Experten die aktuelle wissenschaftliche Evidenz in den ausgewählten sechs Themenfeldern beurteilen, welche Schlussfolgerungen sie bezüglich der Risikopotenziale von HF-EMF ziehen, mit welchen Argumenten sie diese begründen und welche Konsense und Dissense zwischen den Gutachtern bestehen.

4. Projektablauf

Das Projekt begann im September 2003 und wurde im April 2005 abgeschlossen. Der Projektablauf gliederte sich in mehrere Schritte: (1) die Auswahl der Gutachter bzw. Gutachterinnen¹ und beratenden Experten, (2) die Erstellung der Gutachten, (3) die Diskussion der Gutachten auf Workshops, (4) die Möglichkeit zur Überarbeitung der Gutachten, und (5) ein gemeinsamer Abschlussworkshop.

¹ Im Folgenden sprechen wir der Einfachheit halber nur noch von Gutachtern.

4.1 Auswahl der Gutachter und beratenden Experten

Jedes Themenfeld wurde von zwei Gutachtern bearbeitet. Wesentliches Kriterium für die Auswahl der Gutachter war, dass diese im Bereich EMF und in dem jeweiligen Themenfeld selbst wissenschaftlich forschen und in ausgewiesenen Fachzeitschriften publizieren. Damit sollte sichergestellt werden, dass die Gutachter sowohl den inhaltlich-theoretischen wie den methodischen Kenntnisstand für die Erstellung des Gutachtens haben. Denn für die Beurteilung der wissenschaftlichen Evidenz zu möglichen gesundheitlichen Effekten durch HF-EMF sind eigene experimentelle bzw. empirische Erfahrungen mit den Untersuchungsmethoden, die in den für das Gutachten zu beurteilenden Primärstudien genutzt werden, notwendig.

Die kritische Diskussion der Gutachten auf den Workshops sollte von beratenden Experten unterstützt werden. Auch für deren Auswahl war das Kriterium der wissenschaftlichen Expertise in dem jeweiligen Themenfeld essentiell. Allerdings wurde nicht gefordert, dass die wissenschaftliche Forschung der beratenden Experten sich speziell auf den EMF-Bereich bezieht (obwohl dies in den meisten Fällen so war). Vielmehr kam es darauf an, dass sie – für das jeweilige Themenfeld – die Gutachten und die Argumentation der Gutachter in inhaltlich-theoretischer und methodischer Hinsicht kritisch beurteilen konnten.

Die Auswahl der Gutachter und der beratenden Experten erfolgte durch MUT. Es wurde versucht, Experten zu finden, die das wissenschaftliche Meinungsspektrum im jeweiligen Themenfeld repräsentieren. In einigen Fällen haben die zunächst von MUT angesprochenen Wissenschaftler das Gutachten zusammen mit Kollegen bzw. Kolleginnen verfasst. Tabelle 1 zeigt die Gutachter bzw. Gutachtergruppen und die beratenden Experten für die sechs Themenfelder.

Tabelle 1: Gutachter und beratende Experten für die sechs Themenfelder

Themenfeld	Gutachter	Beratende Experten
Genotoxische Effekte	<ul style="list-style-type: none"> • Dr. Rudolf G. Fitzner, Dr. Dr. Kathrin Schlatterer und Dr. Richard Gminski (Institut für Klinische Chemie und Pathobiochemie, Charité – Universitätsmedizin Berlin) • PD Dr. Myrtil Simkó (Institut für Zellbiologie und Biosystemtechnik, Universität Rostock) 	Prof. Dr. Wolfgang-Ulrich Müller (Institut für Medizinische Strahlenbiologie, Universitätsklinikum Essen)
Epidemiologie Krebs	<ul style="list-style-type: none"> • Prof. Dr. Maria Blettner (Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz) • Prof. Dr. Karl-Heinz Jöckel und Prof. Dr. Andreas Stang² (Institut für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie, Universitätsklinikum Essen) 	Prof. Dr. Dr. Heiner Raspe (Institut für Sozialmedizin, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein)

² Seit Sommer 2004: Institut für Medizinische Epidemiologie, Biometrie und Informatik (IMEBI), Medizinische Fakultät, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Themenfeld	Gutachter	Beratende Experten
Tierexperimentelle Studien Krebs	<ul style="list-style-type: none"> Prof. Dr. Clemens Dasenbrock (Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin, Hannover)³ Prof. Dr. Alexander Lerchl (International University Bremen, School of Engineering and Science) 	Prof. Dr. Wolfgang Dekant (Institut für Toxikologie, Universität Würzburg)
ZNS / Schlaf	<ul style="list-style-type: none"> PD Dr. Peter Achermann und Dipl. Psych. Sabine Regel (Institut für Pharmakologie und Toxikologie, Universität Zürich) Dr. Peter Ullsperger (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Berlin) 	Prof. Dr. Thomas Penzel (Klinikum der Philipps-Universität Marburg)
Befindlichkeitsstörungen	<ul style="list-style-type: none"> Dr. Martin Rössli (Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Bern) Dr. Heike Seitz, Dr. Doris Stinner und Prof. Dr. Thomas Eikmann (Institut für Hygiene und Umweltmedizin, Universität Gießen) 	PD Dr. Gerhard A. Wiesmüller (Umweltmedizinische Ambulanz des Universitätsklinikums Aachen, Medizinische Fakultät der RWTH Aachen)
Blut-Hirn-Schranke	<ul style="list-style-type: none"> Prof. Dr. Konstantin-Alexander Hossmann (Max-Planck-Institut für neurologische Forschung, Köln) Prof. Dr. Florian Stögbauer (Klinik und Poliklinik für Neurologie, Universität Münster) 	Prof. Dr. Rainer Meyer (Physiologisches Institut, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn)

Die Anforderungskriterien für die Auswahl der Gutachter – in dem Themenfeld selbst zu forschen und zu publizieren – führte in einigen Fällen dazu, dass die Gutachter auch eigene Arbeiten beurteilen mussten. Dies gilt für Achermann, Jöckel, Fitzner, Rössli, Simkó, Stang, Stögbauer und Ullsperger. Da jedes Themenfeld aber immer von zwei Gutachtern bearbeitet wurde und die Argumentation in den Gutachten von dem jeweiligen beratenden Experten kritisch geprüft wurde, sollte dies nicht zu Verzerrungen in der Bewertung der Befundlage führen.

4.2 Erstellung der Gutachten

Die Gutachter wurden von MUT im Herbst 2003 beauftragt. Sie hatten ausreichend Zeit für die Erstellung ihrer Gutachten. Für jedes Themenfeld wurde ein Workshop mit den Gutachtern und beratenden Experten durchgeführt. Auf der Basis der Workshopdiskussionen konnten die Gutachten dann noch einmal überarbeitet werden. Auf einem gemeinsamen Abschlussworkshop wurden die Ergebnisse der Gutachten noch einmal präsentiert und gemeinsam diskutiert.

Um eine möglichst einheitliche – und damit vergleichbare – Darstellung der Befundlage zu gewährleisten, wurde von MUT eine Struktur für die Gutachtenerstellung vorgeschlagen, die von allen Gutachtern übernommen wurde.⁴ In den Gutachten sollten die folgenden Punkte behandelt werden:

³ Seit Sommer 2004: Boehringer Ingelheim Pharma GmbH & CoKG, Biberach an der Riss.

⁴ Der Vorschlag von MUT für die Darstellungsform des Gutachtens orientiert sich am Cochrane Review (siehe http://www.cochrane.dk/cochrane/handbook/3_1_rationale_for_protocols.htm) und (http://www.cochrane.dk/cochrane/handbook/appendix_2a_guide_to_the_format_of_a_cochrane_review.htm), (<http://www.cochrane.dk/cochrane/handbook/hbook.htm>).

1. Zielstellung des Gutachtens

- Charakterisierung des Themenfeldes (insbesondere in Bezug auf die Relevanz der Befunde aus diesem Feld für die Bewertung von potentiellen Gesundheitsrisiken)
- Betrachtete Endpunkte und Begründung für ihre Auswahl

2. Auswahl der zu berücksichtigenden Studien aus dem Zeitraum 2000 bis 2004

- Kriterien für die Auswahl der berücksichtigten Studien (gegebenenfalls auch Hinweise zu den ausgewählten Feldstärken, Frequenzbereichen und Signalformen)
- Suchstrategien für die Auswahl von Studien (eigene Literaturliste/-datenbank; Medline, etc.)
- Information zur methodischen Qualität jeder Studie

3. Darstellung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes

- Inhaltliche und methodische Diskussion der Studien zu den einzelnen Endpunkten
- Bewertung der Evidenzlage für die einzelnen Endpunkte

4. Gesamtbewertung für das Themenfeld

- Zusammenfassende Bewertung der Evidenzlage für das Themenfeld

5. Liste der betrachteten Studien und der verwendeten Literatur

Die Gutachter wurden gebeten, die ersten beiden Arbeitsschritte eng miteinander abzustimmen, so dass sich für jedes Themenfeld die Gutachten auf die gleichen Endpunkte beziehen und auf der Bewertung der gleichen Primärstudien basieren. In einigen Fällen zeigten sich bei dieser Zusammenarbeit so große Übereinstimmungen auch in der Evidenzbewertung, dass sich die Gutachter entschlossen, ein gemeinsames Gutachten zu verfassen und etwaige Bewertungsunterschiede im Gutachten selbst kenntlich zu machen. Obwohl ursprünglich zwei getrennte Gutachten zu jedem Themenfeld vorgesehen waren, wurde dieser Vorschlag der Gutachter akzeptiert, um Redundanzen zu vermeiden und die Lesbarkeit der Gutachten zu verbessern.

Für die Themenfelder „genotoxische Effekte“, „tierexperimentelle Studien – Krebs“, „epidemiologische Studien – Krebs“ und „Blut-Hirn-Schranke“ liegen damit gemeinsame Gutachten vor, für „ZNS/Schlaf“ und „Befindlichkeitsstörungen“ wurden getrennte Gutachten erstellt. Allerdings bedeutet die getrennte Gutachtenerstellung nicht, dass die Unterschiede in der Bewertung der Evidenzlage zwischen den Gutachtern größer wären als bei den gemeinsam verfassten Gutachten. Alle Gutachten finden sich in Teil 2 dieses Berichts.

4.3 Workshops

Nach der Fertigstellung der Gutachten wurde jedes Themenfeld auf einem eintägigen Workshop mit den Gutachtern und dem beratenden Experten diskutiert. Einen Überblick zu den Workshops, die von Juni 2004 bis November 2004 stattfanden, gibt Tabelle 2. Die Autoren dieses Berichts nahmen an allen Workshops teil.

Tabelle 2: Übersicht zu den Workshops

Themenfeld	Termin	Ort	Teilnehmer
Befindlichkeitsstörungen	01.06.2004	Gießen	<ul style="list-style-type: none"> • Seitz, Stinner, Eikmann • Rööfli • Wiesmüller
Tierexperimentelle Studien – Krebs	03.06.2004	Hannover	<ul style="list-style-type: none"> • Dasenbrock • Lerchl • Dekant
Blut-Hirn-Schranke	16.06.2004	Köln	<ul style="list-style-type: none"> • Hossmann • Stögbauer • Meyer
ZNS / Schlaf	23.06.2004	Berlin	<ul style="list-style-type: none"> • Achermann, Regel • Ullsperger • Penzel
Genotoxische Effekte	09.07.2004	Berlin	<ul style="list-style-type: none"> • Simkó, • Fitzner, Gminski, • Müller, Obe⁵
Epidemiologie – Krebs	03.09.2004	Hannover	<ul style="list-style-type: none"> • Blettner • Stang • Raspe
Gemeinsamer Workshop	03.11.2004	Berlin	<ul style="list-style-type: none"> • Gutachter • Beratende Experten • T-Mobile • BMU

Die Workshops zu den Themenfeldern hatten die folgende Struktur: Zunächst stellten der oder die Gutachter ihre Gutachten vor, dann wurden Verständnisfragen geklärt. Danach folgte die Einschätzung des beratenden Experten zu den Gutachten, wobei sie insbesondere zu den folgenden Punkten Stellung nehmen sollten:

- Sind die in den Gutachten gezogenen Schlussfolgerungen bezüglich des Einflusses hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf den jeweils thematischen Endpunkt bzw. Effekt auf der Basis der dort präsentierten wissenschaftlichen Belege (Primärstudien) plausibel?
- 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?
- Sind die Schlussfolgerungen zur gesundheitlichen Relevanz der diskutierten Effekte auf der Basis der präsentierten wissenschaftlichen Studien plausibel?

Während an den themenspezifischen Workshops nur die Gutachter, die beratenden Experten und die Autoren des Berichtes teilnahmen, waren bei dem abschließenden Workshop, der am 3.11.2004 in Berlin stattfand, auch Vertreter des Auftraggebers dieses Projekts – T-Mobile – sowie des Bundesumweltministeriums (BMU) als Beob-

⁵ Prof. Dr. Günther Obe (Professor Emeritus, Universität Duisburg-Essen, FB-9, Genetik), als assoziiertes Mitglied der Arbeitsgruppe von Dr. Fitzner, nahm ebenfalls an diesem Workshop und auch an dem Abschlussworkshop teil. Er ist aber nicht Co-Autor.

achter anwesend.

Auf diesem Abschlussworkshop wurden zunächst für jedes Themenfeld von einem der Gutachter die wesentlichen Ergebnisse vorgestellt. Danach präsentierte MUT für das jeweilige Themenfeld die im Gutachten dargestellte Evidenzlage (aus seiner Sicht) noch einmal in Form eines Evidenzschemas, in welchem die Bewertung der Evidenzlage durch die Gutachter in Form von Pro- und Contra-Argumenten zusammengefasst wurde. Anschließend wurden diese Evidenzschemata wie auch Querbezüge zwischen den sechs Themenfeldern diskutiert.

Sowohl die themenspezifischen Workshops wie auch der gemeinsame Workshop lieferten wertvolle Hinweise für die folgende Darstellung und Diskussion der Themenfelder.

5. Darstellung und Diskussion der Themenfelder⁶

Die Darstellung und Diskussion hat für alle sechs Themenfelder die gleiche Struktur:

- Zunächst wird eine kurze Einführung in das Themenfeld und seine Bedeutung für die Risikobewertung gegeben.
- Es folgt die Einschätzung des Erkenntnisstandes zum jeweiligen Themenfeld bis zum Jahr 2000 durch zwei Expertengremien, deren Einschätzungen zu möglichen Risiken des Mobilfunks in der Vergangenheit vor allem in der Öffentlichkeit große Resonanz gefunden hatten: die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK 2001) und die englische *Independent Expert Groups on Mobile Phones* (IEGMP 2000).
- Dann werden die Ergebnisse der Gutachten und der Diskussion dargestellt. Diese Darstellung erfolgt in Form von Pro- und Contra-Argumenten, die in einem Evidenzschema visualisiert werden. Inhaltlich basieren diese Pro- und Contra-Argumente auf den jeweiligen Gutachten und Workshopdiskussionen. Die Evidenzschemata wurden auf dem gemeinsamen Workshop präsentiert und diskutiert. Für das Verständnis der Pro- und Contra-Argumente spielen die (ebenfalls in den Evidenzschemata dargestellten) stützenden bzw. abschwächenden Argumente eine wesentliche Rolle. Denn die Pro- bzw. Contra-Argumente beziehen sich oft nur darauf, dass (eine bestimmte Zahl von) Studien etwas gefunden haben. Erst aus den Qualifizierungen ist ersichtlich, für wie belastbar diese Befunde einzuschätzen sind.
- Danach werden die Schlussfolgerungen für die Bewertung der Evidenzlage und für die Risikobewertung dargelegt.
- In einem weiteren Abschnitt werden verbleibende Unsicherheiten in der Bewertung der Evidenzlage und der Risikobewertung genannt.
- Die Darstellung schließt mit einer Einschätzung von MUT, in der die aus unserer Sicht für die Evidenz- und Risikobewertung wesentlichen Punkte thematisiert werden.

⁶ Eine erste Version der Darstellung jedes Themenfeldes wurde den jeweiligen Gutachtern und beratenden Experten zur Kommentierung und Korrektur sachlicher Fehler vorgelegt. Für die zahlreichen Kommentare und Korrekturvorschläge danken wir den Gutachtern und beratenden Experten herzlich.

5.1 Genotoxische Effekte

Ansatz

Gegenstand dieses Themenfelds sind mögliche schädigende Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Erbgut (DNS). Solche DNS-Schädigungen sind zum Beispiel Strangbrüche, d.h. Brüche in einem oder beiden der Polynucleotidstränge der DNS. Solche Veränderungen im Erbgut (Genmutationen) treten in einem gewissen Umfang spontan auf und können durch zelleigene Reparaturmechanismen korrigiert werden. Die korrekt reparierten Genmutationen haben keine schädigenden Folgen für den Organismus. Versagen allerdings die zelleigenen Reparaturmechanismen, so kann es zum Beispiel zu Störungen der Zellkommunikation, zu Veränderungen in der Zellteilungsrate oder zur Apoptose (programmierter Zelltod) kommen. Die Folge ist dann unter Umständen eine Schädigung des Gesamtorganismus, beispielsweise neurodegenerative Erkrankungen oder Krebs.

Bedeutung für die Risikobewertung

Ließe sich zeigen, dass die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern Schädigungen des Erbguts hervorrufen kann, so wäre dies sicherlich ein ernstzunehmender Hinweis auf ein Gesundheitsrisiko. Umgekehrt würden negative Untersuchungsergebnisse dagegen sprechen, dass Krankheiten, bei denen Zellschädigungen eine Rolle spielen, durch hochfrequente elektromagnetische Felder verursacht werden können.

Die Gutachter dieses Themenfeldes weisen allerdings ausdrücklich darauf hin, dass für eine Risikobewertung nicht so sehr Veränderungen bzw. Schädigungen des Erbgutes von Bedeutung sind, sondern dass vor allem der Einfluss solcher Veränderungen bzw. Schädigungen auf den Zellzyklus und die Zellproliferation relevant ist. Denn erst, wenn Zellschädigungen sich auf den Zellzyklus auswirken, etwa durch eine beschleunigte Zellproliferation, ist dies ein Indiz für ein Gesundheitsrisiko, zum Beispiel eine Tumorentwicklung.

5.1.1 Erkenntnisstand im Jahr 2000

Zum Erkenntnisstand des Jahres 2000 bezüglich genotoxischer Effekte führt die Strahlenschutzkommission (SSK 2001) aus:

Die Untersuchungen zu genetischen Schäden durch hochfrequente Felder sind kaum untereinander vergleichbar, weil unterschiedliche Expositionsparameter wie Frequenz, Modulation und Feldstärke verwendet wurden. Die Ergebnisse mit Feldstärken deutlich oberhalb der Grenzwerte sind nicht einheitlich. Es ist festzuhalten, dass Untersuchungen in Feldern, die durch den Mobilfunk (kontinuierliche, amplituden- und frequenzmodulierte Felder) entstehen, keinen Hinweis auf ein genotoxisches Potential ergaben. (S. 13)

Die Einschätzung der *Independent Expert Group on Mobile Phones* (IEGMP 2000) lautet:

Several different assays of genotoxicity have failed to produce clear evidence that RF radiation is genotoxic at non-thermal levels. The most consistent results come from observations of micronucleus formation, but these are not simple to interpret and have uncertain implications for health. (S. 73)

5.1.2 Ergebnisse des Gutachtens und Diskussion

Die beiden Gutachter(gruppen) Dr. Gminski, Dr. Dr. Schlatterer, Dr. Fitzner und Dr. Simkó haben ein gemeinsames Gutachten vorgelegt. Beratender Experte für dieses Themenfeld war Prof. Dr. Wolfgang-Ulrich Müller (Institut für Medizinische Strahlenbiologie, Universitätsklinikum Essen).

Evidenzbasis (Studien seit dem Jahr 2000)

In dem Gutachten werden drei Gruppen von Studien unterschieden: (1) Studien, in denen humane Zellen und die Zellproliferation untersucht wurden, (2) Studien, in denen humane Zellen ohne Betrachtung der Zellproliferation untersucht wurden, und (3) Studien, in denen tierische Zellen verwendet wurden.

Für die Risikobewertung werden ausdrücklich nur Studien aus der Gruppe 1 herangezogen. In Tabelle 3 sind die im Gutachten berücksichtigten Arbeiten mit ihrer Gruppeneinordnung aufgeführt.

Tabelle 3: Studien zu genotoxischen Effekten seit dem Jahr 2000

Studien Gruppe 1	Studien Gruppe 2	Studien Gruppe 3
D'Ambrosio et al. (2002)	Maes et al. (2000)	Bisht et al. (2002)
Hook et al. (2004)	Maes et al. (2001)	Koyama et al. (2003)
McNamee et al. (2003)	Mashevich et al. (2003)	Lagroye et al. (2004)
Miyakoshi et al. (2002)	McNamee et al. (2002)	Li et al. (2001)
REFLEX (2004)	McNamee et al. (2002)	Park & Kim (2002)
Tice et al. (2002)	Miyakoshi et al. (2002)	
Vijayalaxmi et al. (2001a)	Rüdiger et al. (2003)	
Vijayalaxmi et al. (2001b)	Unknown (WHO 2001)	
Zeni et al. (2003)	Vijayalaxmi et al. (2000)	
	Zhang et al. (2002)	
	Zotti-Martelli et al. (2000)	

Pro- und Contra-Argumente zu genotoxischen Effekten

Das Evidenz-Schema zeigt, dass es für den Bereich genotoxischer Effekte zwei zentrale Pro-Argumente und ein Contra-Argument gibt (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2).

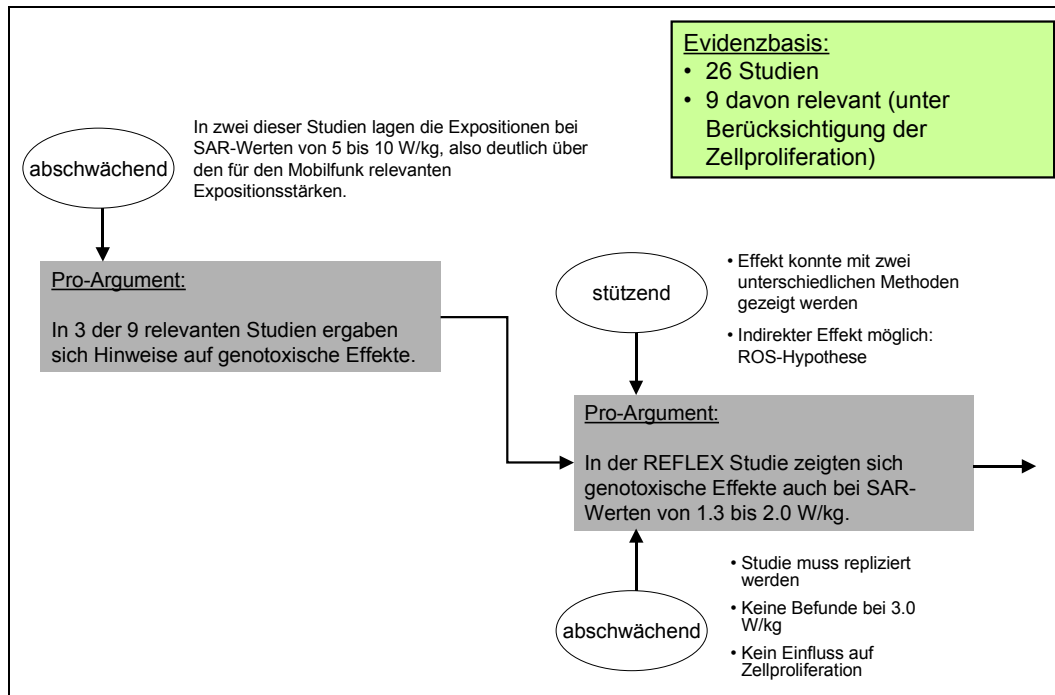


Abbildung 1: Evidenz-Schema genotoxische Effekte (Teil 1)

Pro-Argument:

Das erste Pro-Argument verweist darauf, dass sich in 3 der 9 durchgeführten Studien (D'Ambrosio et al. 2002, Tice et al. 2002, REFLEX 2004), in denen humane Zellen verwendet wurden und die Zellproliferation betrachtet wurde, Hinweise auf genotoxische Effekte ergaben (siehe Abbildung 1). Allerdings zeigten sich in keiner Studie Veränderungen der Zellproliferation, die von den Gutachtern als maßgeblich für die Risikobewertung angesehen werden.

Darüber hinaus wird das Pro-Argument auch dadurch abgeschwächt, dass in zwei dieser Studien sehr hohe Expositionen verwendet wurden: die SAR-Werten lagen bei 5 bis 10 W/kg und damit deutlich über den für den Mobilfunk relevanten Expositionsstärken (D'Ambrosio et al. 2002; Tice et al. 2002). Insofern sind diese Ergebnisse für eine Risikobewertung des Mobilfunks nicht aussagekräftig.

Das zweite Pro-Argument bezieht sich auf die REFLEX-Studie⁷, die genotoxische Effekte auch bei SAR-Werten von 0.3 bis 2.0 W/kg – also im für den Mobilfunk relevanten Bereich – zeigt. Die Relevanz bezieht sich dabei auf die Nutzung von Handys, deren Grenzwert bei 2W/kg liegt. Für Mobilfunkbasisstationen beträgt der Grenzwert 0.08 W/kg. Hier zeigten sich in der REFLEX-Studie bei 0.1 W/kg keine Wirkungen.

Gestützt wird dieses Argument zum einen dadurch, dass in der REFLEX-Studie ein Einfluss der Exposition mit 1800 MHz Feldern nicht nur mit einer, sondern mit zwei unterschiedlichen Methoden gefunden wurde: es konnten DNA-Strangbrüche (Ein-

⁷ Die REFLEX-Studie (*Risk evaluation of potential environmental hazards from low-energy electromagnetic field (EMF) exposure using sensitive in vitro methods*) ist ein aus mehreren Teilstudien bestehendes internationales Projekt, in dem nicht nur hochfrequente, sondern auch niederfrequente elektromagnetische Felder bezüglich ihrer Effekte auf das Erbgut und Zellen untersucht wurden.

fach- und Doppelstrangbrüche) und verstärkte Mikrokernbildungen festgestellt werden. Diese Befunde werden dadurch gestützt, dass mit der ROS-Hypothese erstmals eine mögliche Erklärung für eine DNS-Schädigung durch HF EMF vorliegt. Bislang war ein Problem bei der Interpretation positiver Befunde, dass kein Mechanismus bekannt war, durch den solche Felder Schädigungen im Erbgut hervorrufen können. Beispielsweise ist die Energie hochfrequenter elektromagnetischer Felder zu gering, um die Atombindung der DNS aufzubrechen und so Schäden verursachen zu können. In Experimenten der REFLEX-Studie zeigte sich bei HL-60 Zellen – einer Zelllinie aus menschlichen Leukämiezellen – eine Zunahme von reaktiven Sauerstoffspecies (ROS: *reactive oxygen species*) unter HF EMF Exposition. Damit erscheint es möglich, dass DNA-Brüche durch die Bildung von freien Radikalen verursacht werden. Diese Hypothese ist nicht nur aus Sicht der Gutachter, die diese mit entwickelt haben, sondern auch für den beratenden Experten Prof. Müller plausibel.

Abgeschwächt werden die Befunde der REFLEX-Studie durch drei Punkte: (1) Es fehlen bislang Replikationen, d.h. die Bestätigung der Befunde in anderen Untersuchungen. (2) Trotz der gefundenen genotoxischen Effekte zeigte sich kein Einfluss der HF EMF Exposition auf Zellproliferation und Zellzyklus. (3) Bei dem für HL-60 Zellen gefundenen Anstieg von Mikrokernbildungen unter HF EMF Exposition ergibt sich keine plausible Dosis-Wirkungs-Beziehung: Für Expositionen mit 0.2 W/kg und 1.0 W/kg unterscheidet sich die Mikrokernbildung nicht signifikant von scheinexponierten HL-60 Zellen. Die Mikrokernbildung steigt dann für Expositionen von 1.3 W/kg stark an und fällt für 1.6 W/kg und 2.0 W/kg langsam wieder ab – wobei sich diese drei Expositionsbedingungen statistisch signifikant von der Scheinexposition unterscheiden. Bei einer Exposition von 3.0 W/kg dagegen gibt es dann wieder keinen Unterschied zur Scheinexposition. Dieses Problem wurde auf dem Projektabschlussworkshop diskutiert. Vor dem Hintergrund der ROS-Hypothese argumentierten die Gutachter, dass eine solche nicht-monotone Dosis-Wirkungs-Beziehung durchaus plausibel sei, wenn man annimmt, dass der ROS-Effekt bei ca. 1.3 W/kg ein Optimum erreicht. Dabei könnten sowohl genotoxische Effekte wie auch Effekte des zelleigenen Reparatursystems eine Rolle spielen, die unterschiedliche Wirkungsoptima haben könnten, was eine komplexe und nicht-lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung zur Folge hätte.

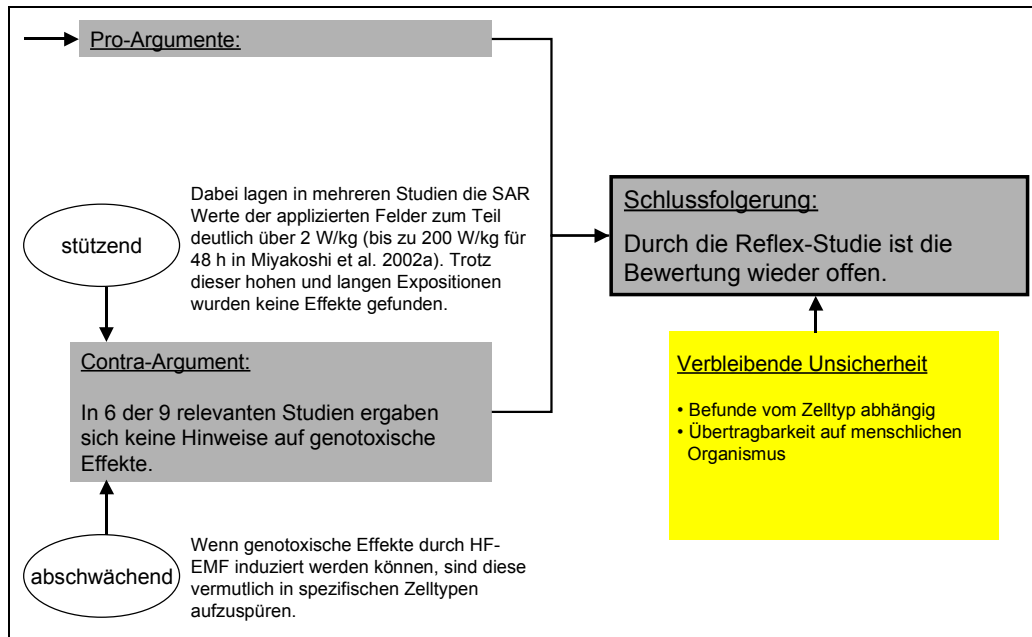


Abbildung 2: Evidenz-Schema genotoxische Effekte (Teil 2)

Contra-Argument:

Das Contra-Argument ist, dass in 6 der 9 durchgeführten Studien, in denen Humanzellen verwendet wurden und die Zellproliferation betrachtet wurde, sich keine Hinweise auf genotoxische Effekte ergaben (Hook et al 2004, McNamee et al. 2003, Miyakoshi et al. 2002a, Vijayalaxmi et al. 2001a, 2001b und Zeni et al. 2004). Dieses Argument wird dadurch gestützt, dass in mehreren Studien die Stärke (SAR Werte) der applizierten Felder zum Teil deutlich über 2 W/kg (bis zu 200 W/kg für eine Expositionszeit von 48 Stunden in Miyakoshi et al. 2002a) lag und trotz dieser hohen und langen Expositionen keine Effekte gefunden wurden.

Geschwächt wird das Contra-Argument aber dadurch, dass nach Einschätzung der Gutachter genotoxische Effekte durch HF-EMF Exposition vermutlich nur in spezifischen Zelltypen auftreten und nicht in Zellen des peripheren Blutsystems. Insofern sind die negativen Befunde aus Studien mit Lymphozyten oder Leukozyten nicht verallgemeinerbar.

5.1.3 Schlussfolgerung

Die wesentliche Schlussfolgerung der Gutachter, der auch der beratende Experte Prof. Müller zustimmt, ist, dass durch die Ergebnisse der REFLEX-Studie die Bewertung genotoxischer Effekte durch Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern wieder offen ist. Den bislang vorwiegend negativen Forschungsergebnissen und der daraus resultierenden Einschätzung, dass genotoxische Effekte durch hochfrequente elektromagnetische Felder (unterhalb der geltenden Grenzwerte) unwahrscheinlich seien,⁸ stehen nun mit der REFLEX-Studie Befunde gegenüber, die diese Einschätzung relativieren.

Allerdings folgt daraus nach Einschätzung der Gutachter nicht, dass deshalb mit Gesundheitsrisiken durch HF EMF aufgrund genotoxischer Effekte zu rechnen ist. Zur

⁸ Siehe dazu die oben zitierten Einschätzungen der SSK und der IEGMP.

Begründung verweisen sie auf eine Reihe kritischer Punkte, die nicht nur bei der Bewertung der Ergebnisse der REFLEX-Studie, sondern generell bei der Risikobewertung bezüglich genotoxischer Effekte zu berücksichtigen sind:

- Selbst wenn genotoxische Effekte bei *in-vitro* Untersuchungen festgestellt werden, bedeutet dies nicht zwangsläufig eine Erhöhung des Gesundheitsrisikos, denn lebende Organismen verfügen über eine Reihe von Reparaturmechanismen und Schutzfunktionen, mit denen Schäden an der DNA behoben oder „entartete“ Zellen neutralisiert werden können.
- Generell sollte – so die Empfehlung von Regulierungskommissionen – die Klassifizierung als nicht-genotoxisch oder genotoxisch nicht allein auf der Basis einer einzigen Test-Methode erfolgen, sondern es sollten verschiedene Tests angewendet werden. Nur dann, wenn alle oder die Mehrheit der Tests signifikante Effekte aufweisen, sind HF-EMF als genotoxisch einzustufen.
- Schließlich können die Ergebnisse von *in-vitro* Untersuchungen nicht ohne weiteres auf Menschen *in-vivo* übertragen werden.

In ihrer Einschätzung der Evidenzlage stellen die Gutachter deshalb fest (Gutachten von Gminski et al., S. A-16):

Generell sollte aus diesem Gutachten geschlossen werden, dass es aus den aufgeführten Studien zur Genotoxizität der Jahre 2000 bis 2004 zur Zeit keinen gesicherten wissenschaftlichen Nachweis für die Annahme gibt, wonach eine Exposition von Zellen mit RF-EMF zytogenetische Veränderungen induzieren, die eine biologische Bedeutung für die menschliche Gesundheit haben könnten.

5.1.4 Verbleibende Unsicherheit

Unsicherheiten bei der Evidenzbewertung ergeben sich insbesondere hinsichtlich der Frage, bei welchen Zelltypen genotoxische Effekte durch HF-EMF Exposition zu erwarten sind. Auch die ROS-Hypothese, mit der erstmals ein Mechanismus für eine DNS-Schädigung durch HF EMF beschrieben wird, bedarf noch weiterer experimenteller Überprüfung.

5.1.5 Einschätzung durch MUT

Wesentlich für den Stellenwert genotoxischer Effekte für die Risikobewertung ist die von den Gutachtern getroffene Unterscheidung zwischen genotoxischen Effekten ohne Folge für die Zellproliferation und genotoxischen Effekten mit Zellproliferation. Denn erst Veränderungen von Zellwachstum, Zellteilung und des programmierten Zelltodes (Apoptose) sind risikorelevant. Da die REFLEX-Studie keine solchen Veränderungen feststellt, ist zwar die Frage genotoxischer Effekte offen, weniger offen scheint aber die Risikobewertung zu sein. Hier ergibt sich auch aus der REFLEX-Studie keine neue Bewertung.

5.2 Tierexperimentelle Studien Krebs

Ansatz

Für den Nachweis eines kausalen Zusammenhangs zwischen Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und Kanzerogenität sind experimentelle Studien unerlässlich. Nur in Experimenten können Expositionen gezielt variiert und ihre Wirkung auf die Krebsinitiation (Krebserzeugung) bzw. Krebspromotion (Krebsförderung) beobachtet und dabei Störfaktoren ausgeschaltet bzw. kontrolliert werden. Natürlich können solche Experimente nicht an Menschen durchgeführt werden. Wie bei der Untersuchung anderer potenzieller nicht-physikalischer Noxen (z.B. Chemikalien) auch, können experimentelle Untersuchungen zur Kanzerogenität hochfrequenter elektromagnetischer Felder nur im Tierversuch erfolgen.⁹

In verschiedenen Bereichen, etwa für Arzneimittel, Industriechemikalien, Pflanzenschutzmittel, gibt es internationale Richtlinien für eine standardisierte Durchführung solcher Tierversuche (z.B. der EU, OECD). Für den EMF-Bereich gibt es solche Richtlinien bislang nicht.

Bedeutung für die Risikobewertung

Obwohl sich bei der Verwendung von Befunden aus Tierexperimenten für die Abschätzung von Gesundheitsrisiken für den Menschen immer die Frage nach der Übertragbarkeit dieser Befunde vom Tier auf den Menschen stellt, werden Tierversuche in vielen Bereichen für die Risikobewertung (z.B. Arzneimittelzulassung, Gefahrenstoffklassifizierung) erfolgreich eingesetzt. Man geht davon aus, dass insbesondere zwischen Säugetieren und Mensch die Ähnlichkeiten bei Zell- und Organfunktionen so groß sind, dass die Übertragbarkeit der Befunde vom Tier auf den Menschen möglich ist (vgl. DFG 2004).

Vor allem dann, wenn belastbare Befunde aus Untersuchungen an Menschen noch fehlen oder sich solche Untersuchungen aus ethischen Gründen prinzipiell verbieten, ist man bei der Risikobewertung auf die Ergebnisse von Tierversuchen angewiesen. In diesem Zusammenhang führt beispielsweise die Internationale Krebsforschungsagentur (IARC) aus:

Although this association cannot establish that all agents and mixtures that cause cancer in experimental animals also cause cancer in humans, nevertheless, in the absence of adequate data on humans, it is biologically plausible and prudent to regard agents and mixtures for which there is sufficient evidence of carcinogenicity in experimental animals as if they presented a carcinogenic risk to humans. The possibility that a given agent may cause cancer through a species-specific mechanism which does not operate in humans [...] should also be taken into consideration.¹⁰

⁹ Aus Gründen des Tierschutzes, aber auch aus Kostengründen wird zunehmend versucht, Tierexperimente durch in-vitro Verfahren zu ersetzen. Gegenwärtig sind tierexperimentelle Untersuchungen für die Abschätzung des Gefährdungspotenzials von gesundheitsrelevanten und Umweltschad-Stoffen u.ä. noch unerlässlich.

¹⁰ <http://www-cie.iarc.fr/monoeval/studiesanimals.html>

5.2.1 Erkenntnisstand im Jahr 2000

Den Erkenntnisstand aus experimentellen Untersuchungen mit Tieren zur Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder bewertet die Strahlenschutzkommission (SSK 2001) folgendermaßen:

Untersuchungen zur Tumorbildung in Hochfrequenzfeldern sind nicht zahlreich und haben keinen wissenschaftlichen Hinweis auf einen entsprechenden Zusammenhang eines Feldeinflusses ergeben. Die Untersuchungen zu Krebs, ausgelöst durch kanzerogene Substanzen oder Implantation von Krebszellen haben keine neuen Hinweise gegeben, dass hochfrequente elektromagnetische Felder die Entstehung oder die Promotion von Tumoren negativ beeinflussen. Eine Einzelstudie, die eine erhöhte Lymphominzidenz bei genmanipulierten Mäusen zeigte, wird als wissenschaftlicher Hinweis auf mögliche Reaktionen gewertet. Derzeit werden Wiederholungsstudien durchgeführt. [S. 13]

Die *Independent Expert Group on Mobile Phones* (IEGMP 2000) kommt zu einer ähnlichen Einschätzung:

Further, a variety of cancer studies using animals have sought evidence of an effect of RF exposure on spontaneous or natural cancer rates, the enhancement of the effects of known carcinogens or effects on the growth of implanted tumours. However, they have provided equivocal evidence for an effect on tumour incidence. [S. 77]

5.2.2 Ergebnisse des Gutachtens und der Diskussion

Da sich in der von den Gutachtern gemeinsam durchzuführenden ersten Phase der Gutachtenerstellung (Literatúrauswahl, Festlegung von Qualitätskriterien und zu betrachtenden Endpunkten) herausstellte, dass sich auch bei der Risikobewertung weitgehende Übereinstimmungen ergeben würden, haben sich die beiden Gutachter, Prof. Dasenbrock und Prof. Lerchl, entschlossen, ein gemeinsames Gutachten zu verfassen. Beratender Experte für dieses Themenfeld war Prof. Dr. Wolfgang Dekant (Institut für Toxikologie, Universität Würzburg).

Evidenzbasis (seit 2000)

Die Literaturrecherche ergab 10 neue Studien, die die Auswahlkriterien der Gutachter erfüllten (siehe Tabelle 4). Bei einer dieser Studien (Jauchem et al. 2001) wurden allerdings hochenergetische ultra-wideband EMF Pulse untersucht, die keine Mobilfunkcharakteristika aufweisen.

Tabelle 4: Tierexperimentelle Studien zu Kanzerogenität seit dem Jahr 2000

Autoren	Spezies
Adey et al. (2000)	Ratten
Anane et al. (2003)	Ratten
Bartsch et al. (2002)	Ratten
Heikkinen et al. (2003)	Mäuse
Heikkinen et al. (2001)	Mäuse
Imaida et al. (2001)	Mäuse
Jauchem et al. (2001)	Mäuse
La Regina et al. (2003)	Ratten
Utteridge et al. (2002)	Mäuse
Zook & Simmens (2001)	Ratten

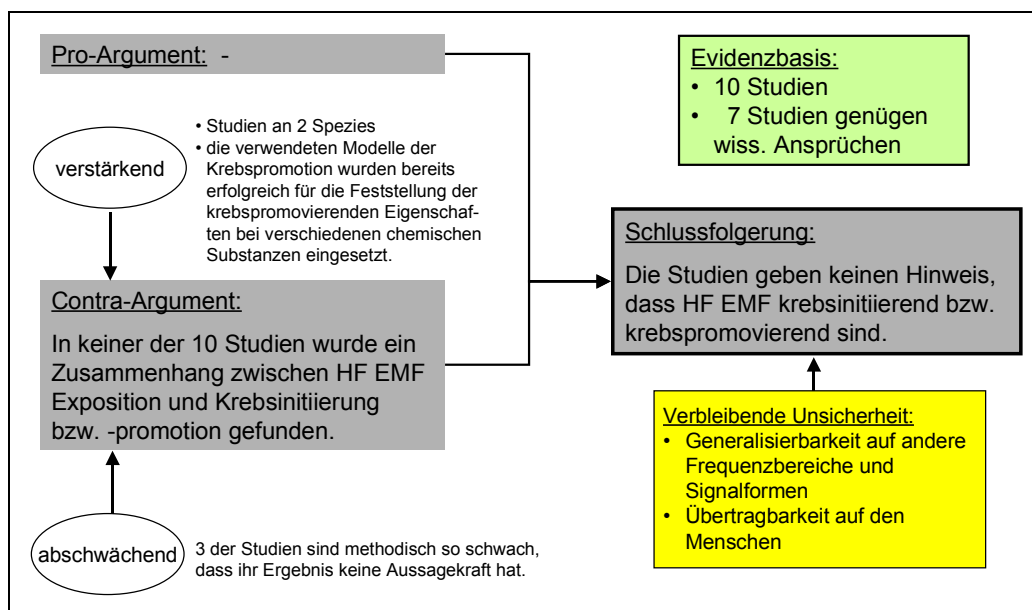
Diese 10 Studien bilden die Evidenzbasis für die Einschätzung, ob hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks einen krebserzeugenden oder krebserfördernden Effekt in Tierversuchen haben.

Pro- und Contra-Argumente

Aus den vorliegenden Forschungsergebnissen lassen sich die folgenden Argumente für bzw. gegen das Vorliegen eines kanzerogenen Effekts von Mobilfunkfeldern im Tierversuch ableiten. Abbildung 3 zeigt das Evidenz-Schema.

Pro-Argument:

Da keine der 10 von den Gutachtern bewerteten Untersuchungen einen Zusammenhang zwischen Exposition der Versuchstiere mit hochfrequenten EMF und Krebsinitiation bzw. -promotion gefunden hat, lässt sich aus diesen Befunden kein Argument ableiten, das für einen kanzerogenen Effekt solcher Felder im Tierversuch spricht.

**Abbildung 3: Evidenz-Schema zu tierexperimentelle Studien Krebs**

Contra-Argument:

In keiner der 10 von den Gutachtern bewerteten Untersuchungen konnte ein Zusammenhang zwischen Exposition der Versuchstiere mit hochfrequenten EMF und Krebsinitiation bzw. -promotion aufgezeigt werden. Obwohl diese negativen Befunde nicht *beweisen* können,¹¹ dass hochfrequente EMF im Tierversuch keinen kanzerogenen Effekt haben, sprechen sie doch gegen das Vorhandensein eines solchen Effekts.

Gestützt wird dieses Argument dadurch, dass die verwendeten Modelle der Krebspromotion bereits erfolgreich für die Feststellung kanzerogener Eigenschaften bei verschiedenen chemischen Substanzen eingesetzt worden sind. Das zeigt, dass die Modelle grundsätzlich funktionieren. Wenn es also einen kanzerogenen Effekt durch elektromagnetische Felder des Mobilfunks gibt, so sollte er sich mit diesen Modellen feststellen lassen.

Die negativen Befunde bekommen zusätzliches Gewicht dadurch, dass sie nicht nur für eine, sondern für zwei Spezies vorliegen. Damit wird ein Kriterium erfüllt, das die IARC für die Einordnung als „Evidenz, die auf das Fehlen von Kanzerogenität hinweist“ (*Evidence suggesting lack of carcinogenicity*) fordert.¹²

Geschwächt wird das Contra-Argument dadurch, dass nach Einschätzung der Gutachter nicht alle 10 Studien den wissenschaftlichen Qualitätskriterien entsprechen. Drei Studien werden als methodisch so schwach eingeschätzt, dass ihre Ergebnisse keinerlei Aussagewert haben. Damit verringert sich die Evidenzbasis für den Zeitraum ab dem Jahre 2000 auf 7 Studien. Dazu kommt, dass nicht bei allen Untersuchungen sicher ist, dass die Zahl der in den jeweiligen Untersuchungen verwendeten Versuchstiere groß genug war, um einen kanzerogenen Effekt – wenn er denn tatsächlich besteht – auch mit hinreichender Wahrscheinlichkeit entdecken zu können. Um dies zu gewährleisten, müsste schon bei der Planung einer Untersuchung mit Hilfe einer Power-Analyse errechnet werden, wie viele Tiere für die Überprüfung der Hypothese erforderlich sind. Eine solche Analyse wurde aber nur in einer der zehn bewerteten Studien durchgeführt. Allerdings sind die in den Experimenten verwendeten Zahlen von Versuchstieren nach Ansicht der Gutachter bei 7 der 10 Studien hinreichend groß, um ein belastbares Ergebnis zu erzielen (siehe dazu die Übersichtstabelle in Dasenbrock & Lerchl, Gutachten, S. B-19).

5.2.3 Schlussfolgerung

Die Schlussfolgerung der Gutachter ist eindeutig. Nach ihrer Einschätzung ergibt sich aus diesen Studien seit dem Jahr 2000 (bis April 2004) kein Hinweis, dass hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks in Tierversuchen krebsinitiierend

¹¹ Es ist logisch unmöglich, das Nichtvorhandensein eines Effekts wissenschaftlich nachzuweisen. Noch so viele negative Befunde können nicht sicherstellen, dass es den Effekt tatsächlich nicht gibt – denn schon die nächstfolgende Untersuchung könnte (z.B. mit einer anderen Methodik) den Effekt ja finden.

¹² „*Evidence suggesting lack of carcinogenicity*: Adequate studies involving at least two species are available which show that, within the limits of the tests used, the agent or mixture is not carcinogenic. A conclusion of evidence suggesting lack of carcinogenicity is inevitably limited to the species, tumour sites and levels of exposure studied.“ (<http://www-cie.iarc.fr/monoeval/eval.html>)

bzw. krebspromovierend sind.

5.2.4 Verbleibende Unsicherheit

Unsicher ist, ob die Negativ-Befunde ohne Modifikation generalisiert werden können. Das betrifft zum einen den Frequenzbereich und die Signalform. Da neun der zehn Experimente mit GSM oder GSM-ähnlichen Signalen durchgeführt wurden, sind Aussagen zu UMTS mit Unsicherheiten behaftet. Zum anderen ist die Übertragung vom Tiermodell auf den Menschen immer mit Restunsicherheiten behaftet.

5.2.5 Einschätzung durch MUT

Die betrachteten tierexperimentellen Studien ergeben keine Hinweise auf Krebsinitiation bzw. -promotion durch HF EMF. Auf dem Abschlussworkshop hat Dasenbrock allerdings darauf hingewiesen, dass zur Zeit noch eine Reihe von Studien zu diesem Thema laufen – u.a. im Rahmen des PERFORM-A Projekts¹³. Von deren Ergebnissen wird es abhängen, ob die hier gegebene Einschätzung zu revidieren ist.

5.3 Epidemiologie Krebs

Ansatz

Epidemiologie untersucht die Inzidenz, Prävalenz und Verteilung von Erkrankungen in einer Bevölkerung mit dem Ziel der Beschreibung, Erklärung und Prävention. Für die Risikobewertung spielt die Epidemiologie eine wichtige Rolle, weil sie versucht, Ursachen von und Einflussgrößen für Erkrankungen festzustellen. Allerdings erschweren komplexe Expositionsbedingungen sowie multi-faktorielle Ursache-Wirkungs-Beziehungen den Nachweis von Kausalitäten bei umweltbezogenen Erkrankungen erheblich. Andererseits besitzen epidemiologische Studien aber den Vorteil, dass sie die Unsicherheiten, die mit der Extrapolation von Tiermodellen auf den Menschen einhergehen, vermeiden, da sie direkt „am Menschen“ untersuchen.

Fraglos sind für eine Risikobewertung insbesondere gravierende Endpunkte, wie kanzerogene Erkrankungen, von besonderer Bedeutung. Deshalb stehen hier im Weiteren kanzerogene Erkrankungen im Mittelpunkt.

Mit einer Ausnahme – der Studie von Baumgardt-Elms et al. (2002) zu Hodenkrebs – untersuchen die von den Gutachtern bewerteten Studien Tumoren im Kopfbereich. Diese Fokussierung beruht auf der Annahme, dass Gewebe und Organe in unterschiedlicher Weise gegenüber den Mobilfunkfeldern exponiert sind und dass die Strahlung an der Körperstelle einen Tumor induziert, an der sie ihr Maximum hat (direkte Einwirkung). Außerdem wird auch die unterschiedliche Empfindlichkeit der Organe berücksichtigt. Deshalb werden vor allem Tumoren im Kopfbereich betrachtet. Da eingeschaltete Mobiltelefone auch am Körper getragen werden, können auch andere Organe lokal exponiert werden. Es existieren aber auch Hypothesen über eine

¹³ In diesem internationalen Projekt soll im Tiermodell (Ratte und Maus) geklärt werden, ob Mobiltelefonieren ein krebserzeugendes Risiko birgt. Ergebnisse sollen im Laufe des Jahres 2005 vorgelegt werden. Informationen im Internet unter: http://www.item.fraunhofer.de/de/medien/newsreports/Januar_2002/1.html

indirekte Wirkung, wobei durch die Bestrahlung einer Körperstelle ein systemischer Effekt auftritt, der dafür sorgt, dass entfernt vom Ort der maximalen Exposition ein Tumor über Blut- oder Lymphfaktoren induziert wird (Gutachten von Blettner et al., S. C-7). Eine solche „Fernwirkung“ oder „systemische Wirkung“ ist extrem schwer zu bewerten.

Bedeutung für die Risikobewertung

Ein kausaler Zusammenhang zwischen Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und Kanzerogenität ist nur eingeschränkt durch epidemiologische Studien nachzuweisen. Dies ist durch bestimmte methodische Besonderheiten bzw. Störfaktoren begründet, die epidemiologischen Studien immanent sind: Sie betreffen die Expositionserfassung, die kausalen Modelle, die zahlreichen Tumorentitäten, verschiedene Verzerrungen (*Bias*) und Störvariablen (*Confounder*), die unterschiedlichen Interpretationsmöglichkeiten eines Datensatzes, das Ereignismaß, etc. (Blettner et al., Gutachten, S. C-6ff.). Solange aber keine klare biologische Hypothese zu einem kanzerogenen Effekt der elektromagnetischen Strahlung des Mobilfunks vorliegt, können qualitativ gute und auf breiter Bevölkerungsbasis durchgeführte epidemiologischen Studien wichtige Hinweise auf mögliche Krebserkrankungen liefern. Wenn auf solcher Basis Veränderungen festgestellt werden, spricht man von einer Assoziation, die auf einen Effekt hindeutet: So steht beispielsweise der durch die epidemiologische Forschung ermittelte Zusammenhang zwischen Rauchen und Lungenkrebs mittlerweile außer Zweifel, auch wenn der Wirkmechanismus noch nicht bis ins Letzte geklärt ist.

5.3.1 Erkenntnisstand im Jahr 2000

Zum Erkenntnisstand des Jahres 2000 aus epidemiologischen Studien führt die Strahlenschutzkommission (SSK 2001) aus:

Epidemiologische Studien, die einen Zusammenhang zwischen bestimmten Erkrankungen und der Exposition durch Sendeanlagen oder durch Mobiltelefone untersuchten, sind nicht zahlreich. Die vorhandenen Studien haben keine statistisch nachweisbare Assoziation zwischen Krebs im Kopfbereich und Nutzung eines Mobiltelefons gezeigt.

Die Studien weisen insgesamt dosimetrische Mängel auf. Ohne relevante Angaben zur Exposition ist die Aussagekraft der Studien jedoch gering. Es ist kein Mechanismus bekannt, wie die Felder der Mobiltelefone eine Krebserkrankung beeinflussen könnten. Aus den derzeitigen Erkenntnissen lassen sich weder ein wissenschaftlich begründeter Verdacht noch Hinweise auf einen negativen Einfluss auf die Gesundheit ableiten. [S. 14]

Die Einschätzung der Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP 2000) lautet:

The epidemiological evidence currently available does not suggest that RF exposure causes cancer. This conclusion is compatible with the balance of biological evidence, which suggests that RF fields below guidelines do not cause mutation, or initiate or promote tumour formation. However, mobile phones have not been in use for long enough to allow comprehensive epidemiological assessment of their impact on health, and we cannot, at this stage, exclude the possibility of some association between mobile phone technology and cancer. In view of widespread concern

about this issue, continued research is essential. [S. 102]¹⁴

5.3.2 Ergebnisse des Gutachtens und der Diskussion

Die beiden beauftragten Experten(gruppen) Blettner und Stang/Jöckel haben ein gemeinsames Gutachten vorgelegt. Beratender Experte für dieses Themenfeld war Prof. Dr. Dr. Heiner Raspe (Institut für Sozialmedizin, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein).

Die Gutachter schätzen das Apriori-Wissen bis zum Jahr 2000 wie folgt ein (Gutachten von Blettner et al., S. C-5):

Bis Ende 1999 gab es nur eine epidemiologisch-analytische Studie (Hardell et al., Int J Oncol 1999), die insgesamt keinerlei Risikoassoziation zwischen Mobilfunkgebrauch und Hirntumorrisiko (Odds Ratio 0.98) zeigte. Erst die seitengetrenten Analysen unter Berücksichtigung der vorwiegenden Seite des Mobiltelefongebrauchs und der betroffenen Gehirn-Hälfte (Hirntumor) ergab für die ipsilateralen Analysen ein deutlich erhöhtes Hirntumorrisiko, was mathematisch aufgrund des insgesamt fehlenden Zusammenhangs zwangsläufig bedeutete, dass das Hirntumorrisiko auf der kontralateralen Seite einen protektiven Effekt hat. Aufgrund dieses Sachverhalts wird diese Studie von den Gutachtern als Studie eingestuft, die keinen Zusammenhang zwischen Hirntumorrisiko und Mobilfunk zeigt.

Zur Bewertung der Originalarbeiten verwendeten die Gutachter eine modifizierte Fassung der „Checkliste zur Bewertung strahlenepidemiologischer Studien der Strahlenschutzkommission vom 12. April 2002“ (siehe Anhang 9 des Gutachtens von Blettner et al.). Die Checkliste wurde von Blettner und Jöckel / Stang unabhängig voneinander ausgefüllt. Der Vergleich zwischen den Wertungen zeigte lediglich kleinere Unterschiede. Daher einigten sich die Gutachter darauf, ein gemeinsames Gutachten zu erstellen und Bewertungsunterschiede im Gutachten deutlich zu machen.

Evidenzbasis (seit 2000)

Nur analytische Studien, die es erlauben, ein Zusammenhangsmaß zwischen Exposition und Erkrankung zu ermitteln, wurden als relevant für eine Risikobewertung betrachtet. Dazu gehören Kohortenstudien, Fall-Kontroll-Studien und Querschnittstudien (allerdings ist im genannten Zeitraum keine relevante Querschnittstudie erschienen).

Insgesamt wurden 30 Publikationen berücksichtigt. Alle Studien beziehen sich auf Expositionen durch elektromagnetische Felder von *Mobilfunktelefonen*. Zu den Feldern von *Mobilfunksendestationen* sind im Zeitraum 2000 bis April 2004 keine wissenschaftlich validen Studien veröffentlicht worden.

¹⁴ Zu epidemiologischen Untersuchungen der HF EMF Exposition am Arbeitsplatz führt die IEGMP aus: „In summary, the overall balance of evidence from epidemiological occupational studies does not indicate that RF radiation affects the risk of cancer in people. However, the types of exposure investigated have varied between studies and are not identical to those associated with mobile phone technology. Also, many of the studies have had low statistical power and some have suffered from methodological deficiencies. Therefore, the absence of consistently positive findings does not establish firmly that RF radiation from mobile phones carries no important risk of cancer.“ (S. 97)

Tabelle 5: Originalbefunde zu Epidemiologie seit dem Jahr 2000

Autoren	Typ	Endpunkt
Auvinen et al. (2002)	Fall-Kontroll Studie	Hirntumor
Baumgardt-Elms et al. (2002)	Fall-Kontroll Studie	Hodentumor
Christensen et al. (2004)	Fall-Kontroll Studie	Akustikusneurinom
De Roos (2001)	Fall-Kontroll Studie	Neuroblastom
Hardell et al. (1999-2003) #1	Fall-Kontroll Studie	Hirntumor
Hardell et al. (1999-2003) #2	Fall-Kontroll Studie	Akustikusneurinom
Hardell et al. (1999-2003) #3	Fall-Kontroll Studie	Hirntumor
Inskip et al. (2001)	Fall-Kontroll Studie	Hirntumor
Johansen et al. (2001)	Kohortenstudie	Hirntumor
Muscat et al. (2000)	Fall-Kontroll Studie	Hirntumor
Muscat et al. (2002)	Fall-Kontroll Studie	Akustikusneurinom
Stang et al. (2001)	Fall-Kontroll Studie	Uvealmelanom
Warren et al. (2003)	Fall-Kontroll Studie	Nervus facialis

Die in Tabelle 5 aufgeführten Arbeiten gehen mit unterschiedlichem Gewicht in die nachfolgende Bewertung ein. Die Gutachter betrachten insbesondere die Arbeiten von Hardell et al. und Warren et al. (2003) aufgrund methodischer Mängel mit Vorsicht.

Pro- und Contra-Argumente zu Epidemiologie

Das Evidenz-Schema in Abbildung 4 zeigt, dass es jeweils ein zentrales Pro- und Contra-Argument gibt. Beide Argumente werden allerdings vor allem durch methodische Mängel der Studien abgeschwächt.

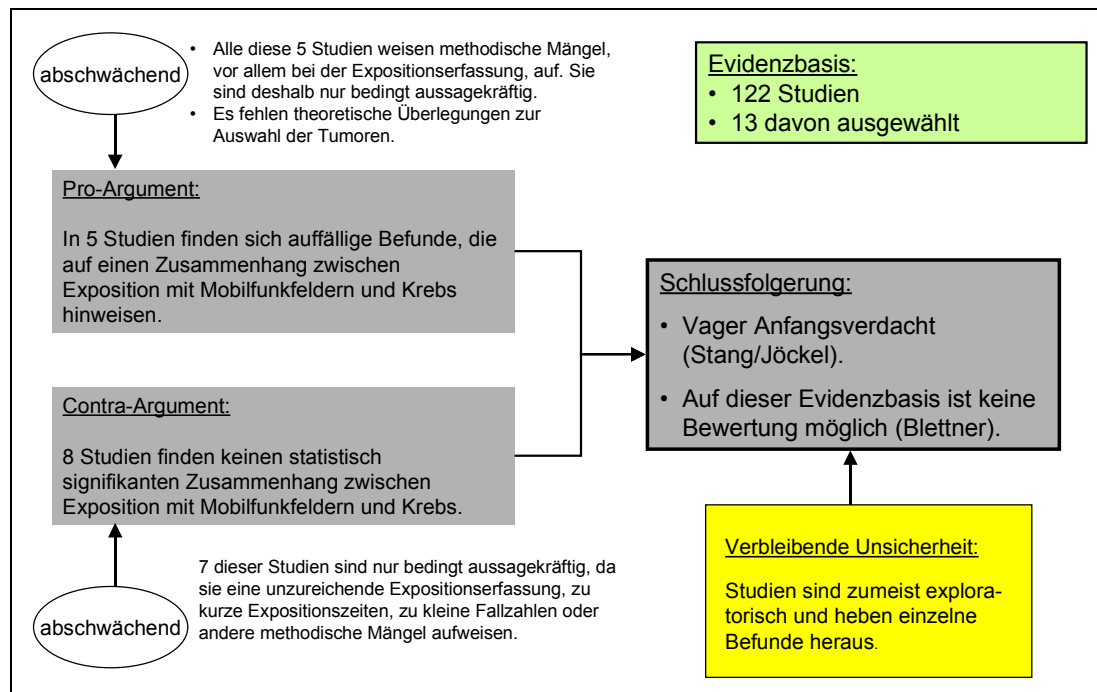


Abbildung 4: Evidenz-Schema zu Epidemiologie kanzerogener Erkrankungen

Pro-Argument:

In fünf Studien zeigen sich auffällige Befunde, die auf einen Zusammenhang zwischen Exposition mit Mobilfunkfeldern und Krebs hinweisen. Eine davon ist die Stu-

die von De Roos et al. (2001) zu Neuroblastomen. Bei den Vätern von Kleinkindern mit Neuroblastomen findet sich keine Risikoerhöhung; bei den Müttern wird ein erhöhtes Odds Ratio von 1.8 (95% CI 0.5-6.0) bei beruflicher Exposition gegenüber Mobilfunk in den letzten 2 Jahren vor der Schwangerschaft festgestellt. Ein methodischer Mangel dieser Studie ist die unpräzise Schätzung des Effekts aufgrund der geringen Zahl exponierter Studienteilnehmer. Die Erhebung der Mobiltelefonnutzung erfolgt wenig detailliert und bezieht sich lediglich auf den Arbeitsplatz. Dennoch ist der auffällige mütterliche Befund nicht einfach durch Confounding (privater Mobiltelefongebrauch) zu erklären, da dann der Confounder per se das Erkrankungsrisiko verursachen müsste. Dass in dieser Studie trotz gravierender methodischer Mängel von den Gutachtern ein „auffälliger Befund“ und „erster Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen Mobilfunkexposition und Neuroblastomrisiko“ (Gutachten von Blettner et al. S. C-14) gesehen wird, liegt nicht zuletzt daran, dass über einen möglichen Zusammenhang zwischen Mobilfunk und Neuroblastomen kaum a priori Wissen vorhanden ist und auch in Zukunft keine Studien in dieser Größe zu diesem seltenen Tumor zu erwarten sind. In der Workshopdiskussion zeigte sich allerdings, dass dies vor allem die Einschätzung von Stang und Jöckel ist. Dagegen sind aus Sicht von Blettner und auch des beratenden Experten Raspe die methodischen Schwächen dieser Studie zu gravierend, um deren Ergebnisse so stark zu gewichten.

In der Studie von Stang et al. (2001) zum Aderhautmelanom zeigt sich bei Probanden, die als „wahrscheinlich exponiert für mindestens ein halbes Jahr gegenüber Mobilfunk“ eingestuft werden, ein erhöhtes Odds Ratio – der gepoolte Schätzer beträgt 4.2 (95% CI 1.2-14.5). Dieser Befund wird von Stang und Jöckel als auffällig, aber nicht als starker Hinweis für einen Zusammenhang zwischen Mobilfunk und Aderhautmelanom-Risiko gewertet, da die Studie aufgrund der kleinen Fallzahl nur unpräzise Effektschätzungen erlaubt und die Expositionserfassung zu wenig detailliert ist.

In der Studie von Auvinen et al. (2002) zu Hirntumoren, die einige methodische Besonderheiten aufweist (kein Selektionsbias, kein Recall-Bias), bezeichnen Stang und Jöckel einzelne Ergebnisse als „auffällig“. So zeigt sich für Personen mit einer Mobilfunkvertragsdauer von 1-2 Jahren für analoge Mobiltelefone eine OR von 2.4 (95% CI 1.2-5.1). Schwachpunkte dieser Studie sind die fehlenden Induktions- und Latenzzeiten und die dürftige Expositionserfassung. In Bezug auf diese Arbeit besteht ein Dissens zwischen den Gutachtern (siehe Blettner et al., Gutachten, S. C-17). Stang und Jöckel werten den Befund als ersten Anfangsverdacht; Blettner wegen der vermuteten hohen Missklassifikation („private subscriber“ ist nicht gleich „privater Telefonierer“) eher nicht.

Die zweite und dritte der im Gutachten bewerteten Fall-Kontroll-Studien von Hardell et al. (2002a,b; 2003) zeigen „auffällige Befunde“ (Gutachten von Blettner et al., S. C-20ff.) für analoge Mobiltelefone in der Gesamtgruppe der Tumoren und in der Gruppe der Akustikusneurinome. Die methodischen Mängel dieser Studien (zu wenig exponierte Personen, keine Dosis-Wirkungs-Beziehungen untersucht, zweifelhaft hohe Responseproportion in der Bevölkerungskontrollgruppe, uneindeutige Beschreibungen der Tumoren, etc.) fallen nach Meinung der Gutachter stark ins Gewicht, deshalb sind die Befunde dieser Studien nicht als Hinweise auf Risiken zu werten.

Contra-Argument:

Das Contra-Risiko-Argument wird durch die bevölkerungsbasierende Fall-Kontroll-Studie zu Hodenkrebs von Baumgardt-Elms et al. (2002) unterstützt. Die Exposition durch „Radiofrequenzgeräte“ zeigt keinen Effekt. Diese Studie wird allerdings weder als „evidence of no effect“ noch als „no evidence of effect“ eingeschätzt, da die Expositionserfassung zu wenig detailliert ist.

Die Studie zu Hirntumoren von Muscat et al. (2000) zeigt insgesamt keinen Zusammenhang zwischen dem Gebrauch von analogen Mobiltelefonen und dem Hirntumorrisiko. Diese Aussage beschränkt sich aber auf eine mittlere kumulative Expositionsdauer von lediglich 2-3 Jahren. In der Studie sind außerdem keine Latenzzeiten berücksichtigt worden. Die Teilanalyse der Daten zu Akustikusneurinomen (Muscat et al. 2002) ist nach Einschätzung der Gutachter wegen der kleinen Fallzahlen und der daraus resultierenden sehr unpräzisen Effektschätzungen nur wenig informativ.

Die Studie zu Hirntumoren von Inskip et al. (2001) gibt keinen Hinweis auf eine Gefährdung durch Benutzung von analogen Handys über wenige Jahre. Personen mit längerer Exposition kommen in der Studie kaum vor. Die Latenzzeit wird nicht berücksichtigt. Die Auswertung betrachtet zu viele zu kleine Subgruppen; außerdem wird eine Vielzahl von (nur potentiellen) Risikofaktoren in die Modellbildung mit einbezogen, wodurch die Ergebnisse möglicherweise verzerrt werden. Aus diesen Gründen werten Jöckel und Stang diese Studie als eingeschränkt belastbar und nur bedingt als Null-Resultat. Dagegen hält Blettner sie für eine der qualitativ besseren und aussagekräftigen Studien, deren Aussage in Bezug auf das Hirntumorrisiko negativ ist.

Die dänischen Daten aus der internationalen *Interphone* Studie¹⁵ zu Akustikusneurinomen (Christensen et al. 2004) zeigen insgesamt kein erhöhtes Risiko. Bemerkenswert ist, dass ein OR von 0.26 für die Personen gefunden wurde, deren erster Vertrag ein analoges Handy beinhaltet. Dies sind vermutlich die Personen, die seit längster Zeit mobil telefonieren. Die obere Grenze des Konfidenzintervalls der ever/never-Analyse für Mobilfunk mit einem Wert von 1.57 spricht dagegen, dass der Mobiltelefongebrauch mit einem deutlich erhöhten Risiko für Akustikusneurinome einhergeht.

Das Contra-Argument wird auch von der retrospektiven Krebsinzidenzstudie von Johansen et al. (2001) gestützt. Der Befund eines stark erniedrigten relativen Risikos für Lungenkrebs (Männer RR=0.65, 95% CI 0.58-0.73) ist allerdings nicht als belastbar zu werten, da hier ein Selektionsbias und ein Confounder vorliegen (Gutachten von Blettner et al., S. C-23). Für Hirntumoren sind Selektionsbias und Confounder ohne Bedeutung; hier zeigt sich kein erhöhtes Risiko (Null-Result). Das gilt allerdings nur für Expositionen gegenüber digitalem Mobilfunk mit einer Nutzungsdauer von wenigen Jahren (92% unter 3 Jahren).

Die Gutachter Jöckel und Stang halten diese Studie für eingeschränkt belastbar, weil

¹⁵ *Interphone* ist eine internationale, multizentrische Fall-Kontroll-Studie zu Hirntumorrisiken, die von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) koordiniert wird. Sie wird nach einem gemeinsam verfassten Studienprotokoll auf gleiche Weise in 13 Ländern an mehr als 7000 Patienten durchgeführt. Außer Deutschland sind die skandinavischen Länder, Großbritannien, Frankreich, Italien, Israel, Australien, Neuseeland, Japan und Kanada beteiligt. Ergebnisse der Gesamtstudie werden für das Jahr 2005 erwartet. Informationen im Internet unter: <http://info.imsd.uni-mainz.de/interphone.html>

die Expositionsdaten unzureichend sind – die Exposition wurde nur anhand der Mobilfunkvertragsdaten abgeschätzt – und die dänische Allgemeinbevölkerung keine geeignete Kontrollgruppe war, da ein Teil von ihr im beobachteten Zeitraum bereits „exponiert“ war (vgl. Godward et al. 2001).

Die Studien von Hardell et al. (Fall-Kontrollstudie #1) und Warren (2003) zeigen ebenfalls keinen Zusammenhang (siehe Gutachten von Blettner et al., S. C-19ff. bzw. C-16), werden aber von den Gutachtern aus methodischen Gründen als nicht aussagekräftig eingeschätzt (C-25f.).

5.3.3 *Schlussfolgerung*

Eine Gesamtbewertung ist nach Auffassung der Gutachter nicht einfach, da die meisten Studien methodische Mängel aufweisen und der Interpretationsspielraum bei epidemiologischen Studien grundsätzlich groß ist.

Die zum Teil unterschiedlichen Interpretationen der Befunde führen zu verschiedenen Gesamturteilen. *Blettner* meint, dass vor allem die qualitativ guten Studien von Muscat, Inskip und die dänischen Daten der Interphone-Studie den Schluss ermöglichen, dass ein karzinogener Effekt eher nicht zu erwarten ist. Allerdings muss diese Bewertung auf die vergleichsweise wenigen Tumorarten beschränkt werden, die bis dato untersucht sind.

Die Gesamtbewertung von *Stang/Jöckel* lautet, es besteht ein „vager Anfangsverdacht“ auf ein Krebsrisiko durch elektromagnetische Felder des Mobilfunks. Diesen Standpunkt sehen diese Gutachter durch die Ergebnisse der Studien von De Roos et al., Auvinen et al., Stang et al. u.a. gestützt. Allerdings beziehen sich die meisten positiven Untersuchungsergebnisse auf die analoge Mobiltelefonetechnik, die kaum noch verwendet wird. Aufgrund dieser Daten folgert Stang vorsichtig, dass – wenn überhaupt – eine krebsfördernde Wirkung seitens des Mobilfunks vorliegt, diese die analoge Mobiltelefonetechnik betrifft.

Ein Konsens zwischen den Gutachtern besteht darin, dass sie davon ausgehen, dass Personen, die Kurzzeitexpositionen (d.h. wenige Jahre) gegenüber digitalen Mobiltelefonen aufweisen, keine erhöhten Hirntumorrisiken haben.¹⁶

5.3.4 *Verbleibende Unsicherheit*

Die Gutachter haben immer wieder die verschiedensten Unsicherheiten aufgeführt,

¹⁶ Derzeit findet die *Interphone-Studie* besondere Aufmerksamkeit. Auf dem Abschlussworkshop wurden insbesondere Ergebnisse der schwedische Teilstudie zum Akustikusneurinom (Lönn et al. 2004) diskutiert (die erst im Oktober 2004 veröffentlicht wurde und deshalb nicht mehr im Gutachten behandelt werden konnte). Das Besondere an dieser Studie ist, dass sie erstmals Mobilfunknutzer einschließt, die 10 Jahre und länger exponiert waren. Bei einer Expositionsdauer von ≥ 10 Jahren geht das Odds Ratio (OR) hoch auf 1,9. Obwohl nicht signifikant, bezeichnete Stang diesen Wert auf dem Abschlussworkshop als „auffällig“ mit der Begründung, dass der allergrößte Teil des Konfidenzintervalls im risikoe erhöhenden Bereich liegt und nur der kleinste Teil im risikoreduzierenden Bereich (95% CI 0,9 bis 4,1). Dazu kommt, dass bei einer ipsilateralen Betrachtung (Tumoren auf der gleichen Seite wie Handynutzung) die OR bei einer Expositionsdauer von ≥ 10 Jahren auf 3,9 (95% CI 1,6 - 9,5) steigt. Der reguläre Gebrauch von DECT Telefonen führt zu einer OR von 0,7 (95% CI 0,4 - 1,2). Allerdings sind mittlerweile weitere Daten aus der schwedischen Interphone-Studie veröffentlicht worden, die für Hirntumoren keinen Zusammenhang mit der Mobilfunknutzung zeigen (Lönn 2004).

die den Interpretationsspielraum epidemiologischer Studien ausweiten, und solche, die deren Wert beträchtlich einschränken (siehe Gutachten von Blettner et al., S. C-6ff.). Zu den ersten zählt die Kontroverse „Signifikanzen versus Schätzgenauigkeiten“, zur zweiten Kategorie zählen u.a. die kleinen Fallstudien bei Subgruppenvergleichen sowie die Induktions- und Latenzzeitannahmen. Von Blettner wurde insbesondere auch die Problematik explorativer Studien hervorgehoben – die zur Hypothesenprüfung nicht genutzt werden sollten.

5.3.5 Bewertung durch MUT

Da es vor dem Jahr 2000 nur eine epidemiologisch-analytische Studie zum Zusammenhang zwischen Mobilfunk und Hirntumorrisiko gab (Hardell et al. 1999), konnte man hoffen, dass sich für diesen – gerade in der öffentlichen Diskussion um Mobilfunkrisiken wichtigen – Bereich mit den seit 2000 durchgeführten Studien eine klarere Einschätzung des Gefährdungspotenzials ergeben würde. Diese Hoffnung erfüllt sich nur zum Teil. Denn die meisten Studien weisen nach Einschätzung der Gutachter methodische Mängel auf, so dass die Schlussfolgerungen der Gutachter bezüglich des Gefährdungspotenzials vorsichtig ausfallen. Einig sind sie sich, dass sich in den Studien keine Hinweise auf Hirntumorrisiken bei Kurzzeitexposition (d.h. Expositionen von wenigen Jahren) gegenüber EMF digitaler Mobilfunktelefone finden. Allerdings kann die eigentlich interessierende Frage – ob die Exposition mit EMF des Mobilfunks überhaupt Krebs bzw. hier speziell Hirntumoren verursachen kann (was sich möglicherweise erst langfristig zeigt) – auf der Basis dieser Studien nicht befriedigend beantwortet werden.

Für die Epidemiologie ist die Beantwortung dieser Frage mit zwei grundsätzlichen Problemen verbunden. Zum einen steht sie vor der Schwierigkeit, dass ihre Befunde nur unter Heranziehung von tierexperimentellen und mechanistischen Studien wirklich kausal interpretiert werden können. Zum anderen gibt es vielfältige Einflussfaktoren, die bei der Bewertung epidemiologischer Studien zum Zusammenhang zwischen Mobilfunkgebrauch und Krebs zu beachten sind und auf welche die Gutachter ausdrücklich hinweisen (siehe dazu Kapitel 6 des Gutachtens von Blettner et al., S. C-6ff.). Die oben angesprochenen methodischen Probleme resultieren im wesentlichen aus der Schwierigkeit, diese vielfältigen Einflussmöglichkeiten bei der Durchführung einer Studie zu kontrollieren. In welchem Ausmaß dies gelingt, variiert und wird zum Teil unterschiedlich bewertet. Damit bleibt Raum für unterschiedliche Interpretationen bei der Beurteilung der verschiedenen Studienergebnisse.

5.4 ZNS / kognitive Funktionen / Schlaf

Ansatz:

Im Themenfeld ZNS / kognitive Funktionen / Schlaf werden verschiedene Aspekte betrachtet, die in der Diskussion um mögliche Gesundheitsrisiken des Mobilfunks eine Rolle spielen. Gemeinsam ist ihnen, dass sie sich auf die Funktionsweise des Zentralnervensystems (ZNS) beziehen. Konkret geht es dabei um den Einfluss von Mobilfunkfeldern auf kognitive Leistungen, auf das Wach-EEG und auf den Schlaf, wobei hier sowohl die Schlafqualität (d.h. die subjektive Bewertung des Schlafs durch die Betroffenen) wie die Schlafarchitektur (die durch Schlaf-EEG Messungen erfasst werden kann) betrachtet werden. Zur Messung von Veränderungen im ZNS unter EMF Exposition wird außerdem noch der regionale zerebrale Blutfluss (rCBF) be-

trachtet.

Bedeutung für die Risikobewertung:

Würden Beeinträchtigungen kognitiver Leistungen (z.B. Verschlechterung der Gedächtnisleistung oder Verlängerung von Reaktionszeiten) durch die Exposition mit HF EMF gefunden werden, so würden diese *per se* zwar nicht unbedingt Schädigungen der Gesundheit darstellen, sie könnten aber sicherlich als unerwünschte Effekte betrachtet werden.¹⁷ Bei der Frage, ob solche Beeinträchtigungen schon als Hinweis auf mögliche gesundheitliche Schädigungen gewertet werden sollten, ist zum einen zu berücksichtigen, ob diese im Spektrum normaler Variabilität bleiben. Zum anderen ist zu beachten, dass solche Beeinträchtigungen auch durch eine Vielzahl alltäglicher Umstände hervorgerufen werden können, z.B. Schlafmangel, Alkoholgenuss, Lärm. Insofern wäre zu fragen, warum hier den elektromagnetischen Feldern als Ursache eine besondere Bedeutung zukommen sollte.

Auch Veränderungen der Schlafarchitektur bzw. Beeinträchtigungen der Schlafqualität müssen an sich noch keine Gesundheitsbeeinträchtigung darstellen. Hier stellt sich ebenfalls die Frage, ab wann solche Veränderungen bzw. Beeinträchtigungen als Hinweis auf Gesundheitsrisiken zu sehen sind. Andauernde Störungen des Schlafs können zu Gesundheitsproblemen führen, z.B. durch eine Schwächung des Immunsystems (vgl. Bryant, Trinder & Curtis 2004).

In noch stärkerem Maße stellt sich das Problem der Interpretation von Veränderungen aufgrund von EMF-Exposition für das Wach-EEG. Dieses reagiert bekanntermaßen äußerst empfindlich auf interne wie externe Reize. Veränderungen des Wach-EEGs aufgrund Exposition mit hochfrequenten EMF sind deshalb zunächst ohne Bedeutung für eine Risikobewertung. Allerdings sind auch im Wach-EEG bestimmte Muster (z.B. Spikes) bekannt, die als akute pathologische Anzeichen (z.B. für Epilepsie) interpretiert werden. Würden solche Muster im Wach-EEG im Zusammenhang mit EMF Exposition gefunden, wäre dies für die Risikobewertung sicherlich von Bedeutung.

Veränderungen des regionalen zerebralen Blutflusses (rCBF) durch EMF-Exposition sind ebenfalls *per se* kein Hinweis auf eine Gesundheitsschädigung. Ähnlich wie das EEG zeigen sie zunächst einmal nur, dass hochfrequente elektromagnetische Felder die Aktivität des Gehirns beeinflussen können. Nur wenn die Veränderungen des rCBF durch EMF-Exposition außerhalb des Normbereichs liegen würden, wäre dies ein Hinweis auf möglicherweise gesundheitsschädliche Wirkungen.

5.4.1 Erkenntnisstand im Jahr 2000

Zum Erkenntnisstand des Jahres 2000 über die Wirkung der Exposition mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks auf das ZNS führt die Strahlenschutzkommission (SSK 2001) aus:

[Schlaf]

In diesem Zusammenhang werden oft die Abschlussberichte der „Schwarzenburg-Studie“ erwähnt. Mit mehreren Versuchsansätzen wurde die Bevölkerung in Schwarzenburg (Schweiz), die

¹⁷ Dies hängt natürlich auch von der Definition von Gesundheit ab, die man verwendet.

seit Jahrzehnten z.B. über Schlafstörungen als Folge eines Kurzwellensenders klagte, untersucht [...]. Wiederholt konnte in Querschnittsstudien in der gleichen Population gezeigt werden, dass Durchschlafstörungen in Bevölkerungsgruppen, die näher an dem Sender wohnten, häufiger auftraten als in Bevölkerungsgruppen im Umland. Diese räumliche Assoziation lässt sich auch in kurzen Zeitreihen bestätigen. Die Aussagekraft dieser Studie ist geringer als die der o.g. kontrollierten Laborexperimente, da die Studie nicht doppelblind durchgeführt wurde und die Befindlichkeitsstörungen nur anhand einer Fragebogenaktion erfasst wurden. Es existieren keine individuell korrelierten Messungen, was zu einer Missklassifizierung, einer Über- oder Unterschätzung der effektiven Exposition, führen könnte. Deshalb sind die o.g. Ergebnisse der Einzelstudie allenfalls als unbestätigte Hinweise einzustufen. Zur Abklärung, ob es Schlafstörungen durch hochfrequente Felder gibt, sind kontrollierte, doppelblind durchgeführte Schlafexperimente geeigneter, um zwischen physischen und psychischen Ursachen der Störung unterscheiden zu können. [S. 33]

[EEG]

Es kann zusammengefasst werden, dass die bisherigen Studien nicht im Ergebnis übereinstimmen, aber dennoch Hinweise auf expositionsbedingte Änderungen neurophysiologischer Prozesse geben. Insgesamt sprechen die Experimente zu Ruhe-EEGs eher gegen eine Beeinflussung der spontanen Hirnaktivität. Die beschriebenen Veränderungen bei den komplexeren evozierten Potentialen sind im Einzelnen noch nicht wiederholt und bestätigt. Daher sind weitere Untersuchungen notwendig. [S. 32f.]

[Kognitive Funktionen beim Menschen]

Ziel dieser Studien ist es, einen vermuteten Einfluss elektromagnetischer Felder auf kognitive Funktionen zu untersuchen. Mit Verhaltensexperimenten kann ein Feldeinfluss auf die aktive intellektuelle Informationsverarbeitung (kognitive Leistung) untersucht werden.

[...]

Die Vielzahl an untersuchten, unterschiedlichen Reaktionszeittypen, die bei Exposition zum Teil verkürzt, aber andere auch verlängert waren, lässt keine eindeutige Bewertung zu, gibt aber Hinweise auf eine mögliche Beeinflussung von physiologischen Prozessen. Es ist weitere Forschung notwendig, um zu klären, ob bei der Nutzung von Handys die Leistungsfähigkeit des Gehirns beeinflusst wird. [S. 33]

Die Einschätzung der *Independent Expert Group on Mobile Phones* (IEGMP 2000) lautet:

Together, the findings from electrophysiological studies suggest that exposure to mobile phone signals influences brain function. The evidence is sufficiently substantial to warrant further investigation, notably with respect to the influence of GSM-like signals on sleep and on event-related EEG changes during the performance of cognitive tasks. It should be emphasised, however, that neither the biological nor the clinical significance of the findings described above is clear at present, and the relevance of the findings to the question of the safety of mobile phone technology is uncertain. [S. 85]

5.4.2 Ergebnisse der Gutachten und der Diskussion

Nach der von den Gutachtern gemeinsam durchzuführenden ersten Phase der Gutachtererstellung (Literatúrauswahl, Festlegung von Qualitätskriterien und zu betrachtenden Endpunkte) haben die beiden Gutachter(gruppen), Dr. Achermann / Dipl.

Psych. Regel sowie Dr. Ullsperger, jeweils eigene Gutachten vorgelegt. Beratender Experte für dieses Themenfeld war Prof. Dr. Thomas Penzel (Klinikum der Philipps-Universität Marburg).

Für die Risikobewertung haben die Gutachter drei Endpunkte definiert. Dies sind: (1) Verhalten¹⁸ / Schlafvariablen, (2) Auswirkungen auf Parameter des EEG und des regionalen zerebralen Blutflusses (rCBF) und (3) akute gesundheitliche Auswirkungen. Die Pro- und Contra-Argumente werden für diese drei Endpunkte getrennt betrachtet.

Evidenzbasis (Studien seit dem Jahr 2000)

Grundlage der Bewertung bilden 29 Arbeiten, die den von den Gutachtern gestellten Qualitätskriterien entsprechen. Für die Beurteilung des Endpunkts „Kognitive Funktionen/ Schlafvariablen“ sind davon 17 Studien relevant (siehe Tabelle 6), für den Endpunkt „Parameter des EEG / rCBF“ werden 9 Studien herangezogen (siehe Tabelle 7), wobei vier Arbeiten für beide Endpunkte genutzt werden. Sieben weitere Arbeiten lassen sich keinem dieser beiden Endpunkten zuordnen, sie bilden aber – zusammen mit den schon genannten Studien – die Grundlage für die Beurteilung des Endpunkts „akute gesundheitliche Auswirkungen“.

Tabelle 6: Originalbefunde zu dem Endpunkt „Kognitive Funktionen / Schlafvariablen“ seit dem Jahr 2000

Autoren	Art	Auswirkung auf
Bornhausen & Scheingraber (2000)	Tierexperiment	operantes Lernen
Dubreuil et al. (2002)	Tierexperiment	räumliches Lernen
Dubreuil et al. (2003)	Tierexperiment	Gedächtnis, Objekterkennung
Freude, Ullsperger et al. (2000)	Humanstudie	Wach-EEG, kognitive Funktionen
Haarala, Aalto et al. (2003a)	Humanstudie	rCBF im Wachzustand, kognitive Funktionen
Haarala, Bjornberg et al. (2003b)	Humanstudie	kognitive Funktionen
Huber, Graf et al. (2000)	Humanstudie	Schlaf, Schlaf-EEG
Huber, Schuderer et al. (2003)	Humanstudie	Wach- und Schlaf-EEG; Herzfrequenz / Herzfrequenzveränderung
Huber, Treyer et al. (2002)	Humanstudie	Schlaf, Schlaf-EEG, rCBF
Koivisto, Revonsuo et al. (2000a)	Humanstudie	kognitive Funktionen
Koivisto, Krause et al. (2000b)	Humanstudie	kognitive Funktionen
Lass, Tuulik et al. (2002)	Humanstudie	kognitive Funktionen
Sienkiewicz, Blackwell et al. (2000)	Tierexperiment	räumliches Lernen
Wagner, Röschke et al. (2000)	Humanstudie	Schlaf, Schlaf-EEG
Wang & Lai (2000)	Tierexperiment	räumliches Lernen
Yamaguchi, Tsurita et al. (2003)	Tierexperiment	räumliches Lernen
Zwamborn et al. (2003)	Humanstudie	subjektives Befinden, kognitive Funktionen

¹⁸ Mit „Verhalten“ sind im vorliegenden Zusammenhang Reaktionen von Probanden bei kognitiven Tests sowie Orientierungsreaktionen von Versuchstieren gemeint.

Tabelle 7: Originalbefunde zu dem Endpunkten EEG-Parameter / rCBF seit dem Jahr 2000

Autoren	Art	Auswirkung auf
Arai et al. (2003)	Humanstudie	EEG (auditorisch)
Freude, Ullsperger et al. (2000)	Humanstudie	Wach-EEG, kognitive Funktionen
Haarala, Aalto et al. (2003a)	Humanstudie	rCBF (wach), kognitive Funktionen
Hietanen, Kovala et al. (2000)	Humanstudie	Wach-EEG
Huber, Graf et al. (2000)	Humanstudie	Schlaf-EEG
Huber, Treyer et al. (2002)	Humanstudie	Schlaf, Schlaf-EEG, rCBF
Huber, Schuderer et al. (2003)	Humanstudie	Wach- und Schlaf-EEG; Herzfrequenz / Herzfrequenzveränderung
Krause, Silanmäki et al. (2000a)	Humanstudie	Wach-EEG
Krause, Silanmäki et al. (2000b)	Humanstudie	Wach-EEG
Wagner et al. (2000)	Humanstudie	Schlaf-EEG

Pro- und Contra-Argumente zum Endpunkt Kognitive Funktionen / Schlaf

Wie das Evidenz-Schema in Abbildung 5 zeigt, gibt es für die Bewertung des Endpunkts Kognitive Funktion / Schlaf ein Pro-Argument, das für ein potenzielles Gesundheitsrisiko durch elektromagnetische Felder des Mobilfunks spricht, und zwei Contra-Argumente, die dagegen sprechen.

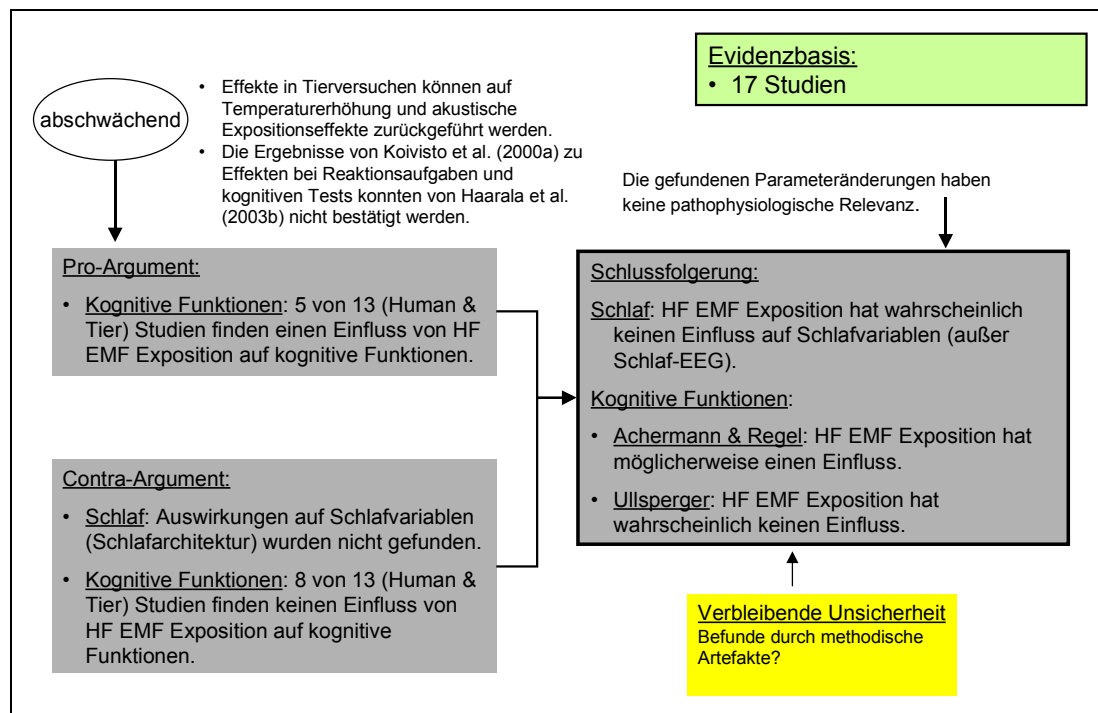


Abbildung 5: Evidenz-Schema zum Endpunkt „Kognitive Funktionen / Schlaf“

Pro-Argument:

Das Pro-Argument bezieht sich auf die fünf Studien, die in Human- bzw. Tierexperimenten einen Einfluss hochfrequenter EMF auf kognitive Funktionen gefunden haben (Koivisto et al. 2000a, 2000b; Lass et al. 2002; Wang & Lai 2000; Zwamborn et al. 2003). Abgeschwächt wird das Pro-Argument dadurch, dass die in Tierversuchen gefundenen Einflüsse der HF EMF Exposition auf kognitive Funktionen (Lernen) auf

Temperaturerhöhungen und akustische Expositionseffekte zurückgeführt werden können. Und die in der Humanstudie von Koivisto et al. (2000a) gefundenen Effekte (Verkürzung der Reaktionszeit) konnten in einer Replikationsstudie von Haarala et al. (2003b) nicht bestätigt werden. Vielmehr zeigte sich, dass die positiven Befunde von Koivisto et al. durch nicht bewusst wahrnehmbare Geräusche, die von dem bei Exposition eingeschalteten Handy ausgingen, erklärt werden können.

Contra-Argument:

Gegen die Annahme, dass die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern die Endpunkte „Kognitive Funktionen“ und „Schlaf“ beeinflusst, spricht zum einen, dass in den betrachteten Studien keine Auswirkungen auf die Schlafarchitektur gefunden wurden (außer Schlaf-EEG, s.u.). Zum anderen haben 8 der 13 Studien, in denen kognitive Funktionen untersucht wurden, keinen Zusammenhang mit der HF EMF Exposition gefunden (Freude et al. 2000; Bornhausen & Scheingraber 2000; Dubreuil et al. 2002, 2003; Haarala et al. 2003a, 2003b; Sienkiewicz et al. 2000; Yamaguchi et al. 2003).

Schlussfolgerung

Für den Endpunkt „Schlaf“ kommen die Gutachter auf der Basis der betrachteten Studien zu einer eindeutigen Bewertung: Einen Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf den Schlaf halten sie – abgesehen von den gefundenen Effekten auf das Schlaf-EEG (s.u.) – für unwahrscheinlich. Unterschiedliche Schlussfolgerungen ziehen die Gutachter allerdings für den Endpunkt „kognitive Funktionen“. Während auch hier nach Einschätzung von Ullsperger die Befundlage einen Einfluss der Exposition mit HF EMF auf kognitive Funktionen unwahrscheinlich erscheinen lässt, halten Achermann und Regel einen solchen Einfluss für möglich. Allerdings zeigte sich in der Workshopdiskussion, dass es hier letztlich um Nuancen in der Ausdrucksweise handelt: die Gutachter sind sich einig, dass es kaum belastbare Studien gibt, die auf einen solchen Zusammenhang hindeuten.

Die vorhandene Bewertungsdifferenz resultiert daraus, dass Ullsperger die in den meisten Studien vorhandenen Einflüsse unkontrollierter Störfaktoren auf kognitive Funktionen stärker gewichtet als Achermann und Regel. Ullsperger verweist zum einen auf den Einfluss der nicht wahrnehmbaren „Begleitgeräusche“¹⁹ auf kognitive Funktionen der Probanden, den z.B. die Replikation der Studie von Koivisto et al. (2000a) durch Haarala et al. (2003b) gezeigt hat. In der Workshop-Diskussion erläuterte Ullsperger hierzu, es sei aus der Arbeitsphysiologie bekannt, dass sich bei hörbarem Rauschen und Lärm kognitive Funktionen zunächst verbessern können. Zum anderen merkte er an, dass Effekte oftmals nur auf die Wiederholungen zurückzuführen sind, weil gerade bei kognitiven Tests der Trainingseinfluss bzw. die Habituation eine wesentliche Rolle spielen können. Solche Erscheinungen machen seines Erachtens die Rolle der HF EMF Exposition auf kognitive Leistungen fraglich und führen ihn zu dem Schluss, dass der eindeutige Nachweis EMF-bedingter systematischer Änderungen von Parametern des Verhaltens und der bioelektrischen Hirnaktivität bei einfachen Reaktionsaufgaben und kognitiven Tests immer noch fehlt.

Ungeachtet dieser Bewertungsdifferenz sind sich die Gutachter und der beratende

¹⁹ Erläuterung dazu findet sich im Abschnitt zu EEG und rCBF

Experte Prof. Penzel darin einig, dass die in den Studien zum Endpunkt „Kognitive Funktionen/ Schlaf“ gefundenen Parameteränderungen keine pathophysiologische Relevanz haben. Insbesondere verwiesen sie in der Workshop-Diskussion darauf, dass Untersuchungen zum Einfluss von HF EMF auf kognitive Funktionen kein geeigneter Ansatz sind, um gesundheitliche Belastungen durch HF EMF aufzuzeigen.

Verbleibende Unsicherheit

Unklar ist, inwieweit die gefundenen Effekte auf methodische Artefakte zurückzuführen sind. Die Gutachter weisen in ihren Gutachten auf eine Reihe methodischer Schwächen in den Untersuchungen zum Einfluss von HF EMF auf kognitive Funktionen und Schlafvariablen hin, die zu den beobachteten Effekten führen können.

Pro- und Contra-Argumente zum Endpunkt „EEG & rCBF“

Das Evidenz-Schema in Abbildung 6 zeigt, dass es zu diesem Endpunkt jeweils ein Pro- und ein Contra-Argument gibt.

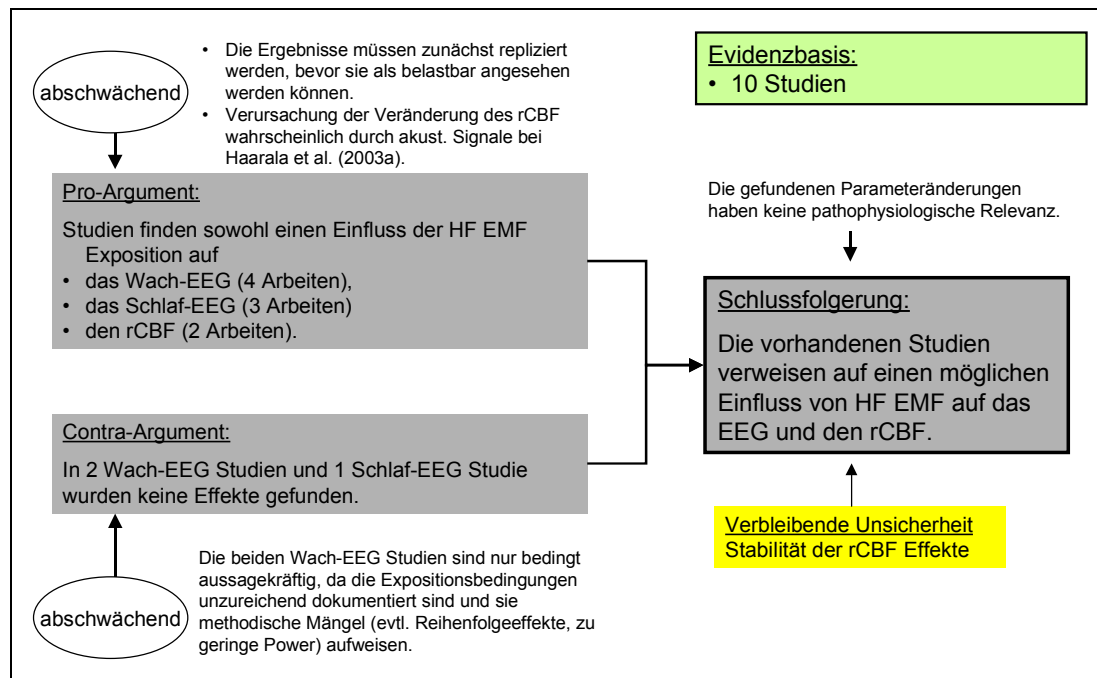


Abbildung 6: Evidenz-Schema zum Endpunkt „EEG / rCBF“

Pro-Argument:

Das Pro-Argument verweist darauf, dass in 4 Arbeiten ein Einfluss der HF EMF Exposition auf das Wach-EEG (Freude et al. 2000; Huber et al. 2003; Krause et al. 2000a, 2000b) und in 3 Arbeiten auf das Schlaf-EEG (Huber et al. 2000, 2002, 2003) gefunden wurde. Und die beiden Arbeiten aus dem Begutachtungszeitraum, in denen der regionale zerebrale Blutfluss untersucht wurde, haben ebenfalls einen Effekt der Exposition mit hochfrequenten EMF gefunden (Haarala et al. 2003a; Huber et al. 2003). Abgeschwächt wird dieses Argument dadurch, dass die Ergebnisse der Untersuchungen erst noch repliziert werden müssen, bevor man sie als belastbar einstufen kann. Hinzu kommt als weiterer abschwächender Punkt, dass in dem Experiment von Haarala et al. (2003a) der aufgefundene Effekt von den Autoren selbst als

methodisches Artefakt erklärt wird: Das in der Untersuchung benutzte Handy – genauer: der Akku – erzeugte im angeschalteten Zustand einen hohen Ton, der von den Probanden zwar nicht bewusst wahrgenommen wurde, trotzdem aber von ihnen registriert und zu dem gefundenen Effekt geführt haben könnte.

Contra-Argument:

Das Contra-Argument bezieht sich auf die beiden Wach-EEG Studien (Arai et al. 2003; Hietanen et al. 2000) und die Schlaf-EEG Studie von Wagner et al. (2000), in denen kein Einfluss der Exposition mit HF EMF auf das EEG gefunden wurde. Abgeschwächt wird dieses Argument dadurch, dass in beiden Wach-EEG Studien die Expositionsbedingungen unzureichend dokumentiert sind und die Untersuchungen methodische Mängel (evtl. Reihenfolgeeffekte, zu geringe Power) aufweisen. So wurden in der Untersuchung von Hietanen et al. (2000) männliche und weibliche Probanden unter sechs verschiedenen Expositionsbedingungen (5 Expositionsvarianten, 1 Kontrolle) untersucht, was die Nutzung eines balancierten experimentellen Designs ausschließt. Damit können Reihenfolgeeffekte nicht ausgeschlossen werden. Die Untersuchung von Arai et al. (2003) umfasst nur 15 Probanden, so dass sich hier die Frage stellt, ob ein vorhandener Zusammenhang überhaupt mit hinreichend großer Wahrscheinlichkeit entdeckt werden konnte (zu geringe statistische Power). Beide Studien sind deshalb nur begrenzt aussagekräftig.

Schlussfolgerung

Für die Gutachter ergibt sich aus den Ergebnissen der in dem Bewertungszeitraum vorliegenden Arbeiten die Schlussfolgerung, dass ein Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf das EEG sowie auf den regionalen zerebralen Blutfluss möglich ist. Die Gutachter sind sich aber auch darin einig, dass die in den Studien zum Endpunkt „EEG / rCBF“ gefundenen Parameteränderungen keine pathophysiologische Relevanz haben. Sie sind gering, zum Teil schon an der Grenze der Messbarkeit und daher im Bereich physiologischer Normvariation. Vergleichsweise ruft das Öffnen und Schließen der Augen im EEG größere Veränderungen hervor als die Exposition mit HF EMF.

Verbleibende Unsicherheit

Unsicher ist, wie stabil die bislang gefundenen Effekte sind. Dies betrifft insbesondere den regionalen Hirnblutfluss (rCBF). Offen ist auch, welche Rolle die Modulation des EMF-Signals spielt.

Pro- und Contra-Argumente zum Endpunkt „Akute gesundheitliche Wirkungen“

Das Evidenz-Schema (siehe Abbildung 7) zeigt, dass es zu diesem Endpunkt nur ein Contra-Argument und kein Pro-Argument gibt.

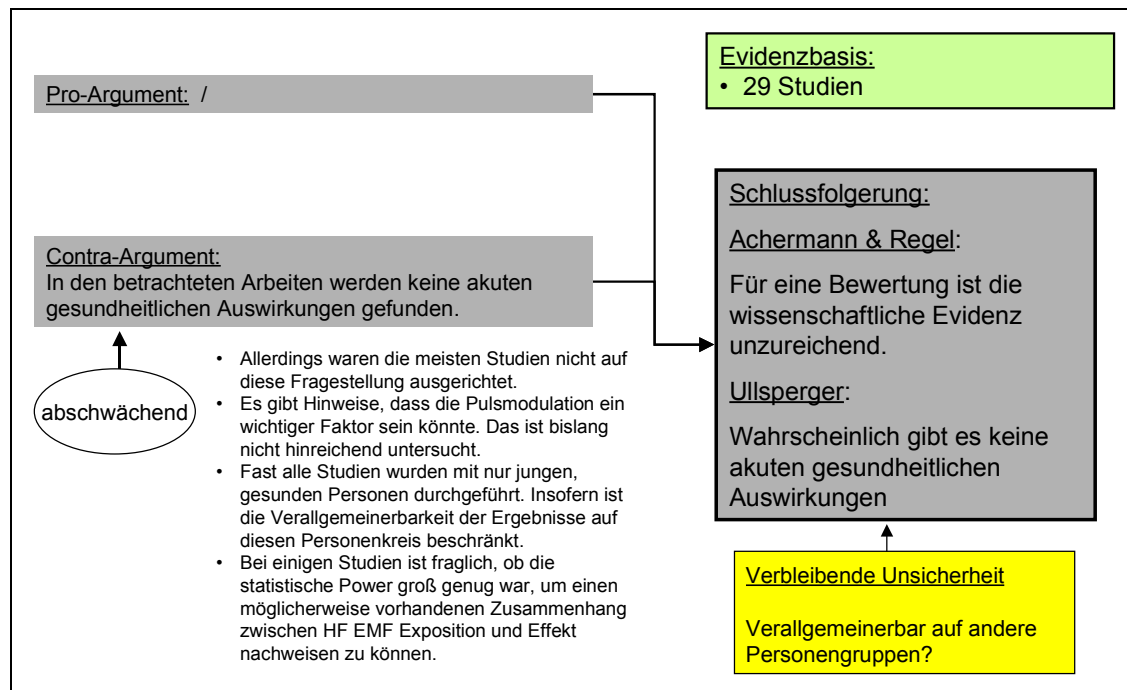


Abbildung 7: Evidenz-Schema zum Endpunkt „akute gesundheitliche Wirkungen“

Pro-Argument:

Keines.

Contra-Argument:

Das Contra-Argument verweist darauf, dass in keiner der betrachteten Arbeiten akute gesundheitliche Auswirkungen gefunden wurden. Dies spricht – angesichts der Anzahl und Verschiedenartigkeit der Untersuchungsansätze – zunächst einmal klar gegen akute gesundheitsschädigende Effekte von HF EMF im Bereich ZNS / Schlaf. Dieses Argument wird aber dadurch abgeschwächt, dass die meisten der betrachteten Studien auch nicht auf die Entdeckung akuter gesundheitlicher Wirkungen ausgerichtet waren. Zusätzlich zu den schon bei den oben diskutierten Endpunkten aufgeführten Einschränkungen (z.B. statistische Power) muss auch beachtet werden, dass alle hier betrachteten Studien nur mit gesunden – und zum Teil jungen – Probanden durchgeführt wurden, so dass die Ergebnisse nur auf diesen Personenkreis verallgemeinert werden können. Auch dies schwächt das Contra-Argument ab.

Schlussfolgerung

Die Gutachter sind sich einig, dass sich aus den Ergebnissen der berücksichtigten Arbeiten keine akuten gesundheitlichen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder ableiten lassen. Allerdings weisen Ahermann und Regel darauf hin, dass Wirkmechanismen, die – jenseits akuter Schädigungen – zu Gesundheitsschäden durch HF EMF im Bereich ZNS / Schlaf führen könnten, nicht bekannt sind. Insofern lässt sich nach ihrer Einschätzung beim derzeitigen Wissensstand auch nicht

beurteilen, ob die gefundenen Effekte gesundheitlich relevant sind. Für Ullsperger sprechen die bisherigen Befunde eher gegen einen Zusammenhang zwischen HF EMF Exposition und gesundheitlichen Wirkungen.

Verbleibende Unsicherheit

Verbleibende Unsicherheiten betreffen die Rolle der Modulation des EMF-Signals und vor allem die Gültigkeit der bisherigen Ergebnisse für potenziell sensible Personengruppen, wie zum Beispiel Kinder, Behinderte oder Elektrosensitive.²⁰ Möglicherweise reagieren auch Personen mit Schlafstörungen (Insomnie) in besonderer Weise auf HF EMF.

5.4.3 Einschätzung durch MUT

Die Bewertung der verschiedenen Studien zu den Endpunkten kognitive Funktionen, Schlafvariablen, Parameter des EEG und regionaler zerebraler Blutfluss (rCBF) seitens der Gutachter ist leicht different. Eindeutig ist allerdings die Einschätzung der Befunde für die Risikobewertung. Das heißt, unabhängig davon, ob sich gefundene Effekte bestätigen oder nicht: Sie zeigen kein gesundheitliches Risiko durch hochfrequente elektromagnetische Felder.

Weiterhin besteht Einigkeit, dass sich für akute gesundheitliche Wirkungen in den betrachteten Studien keine Anhaltspunkte finden lassen.

Allerdings gelten für alle untersuchten Endpunkte die oben angesprochenen Einschränkungen: Untersuchungen wurden bislang im Wesentlichen mit gesunden (und meist jungen) Erwachsenen durchgeführt; es mag aber durchaus sensible Personengruppen geben, bei denen sich gesundheitlich relevante Effekte zeigen.

5.5 Befindlichkeitsstörungen

Ansatz:

Unter umweltbezogenen Befindlichkeitsstörungen versteht man eine von den Betroffenen wahrgenommene und als negativ erlebte Belastung aus dem Umweltbereich (vgl. Bullinger & Guski 1997). Sie äußert sich häufig in Form unspezifischer (d.h. für keine bestimmte Ursache typische) Symptome, wie etwa Müdigkeit, Schlafstörungen, Kopfschmerzen, Konzentrationsschwierigkeiten oder Nervosität. Befindlichkeitsstörungen betreffen vor allem das subjektive Erleben. Für ihre Messung ist man deshalb auf die Selbstbeurteilung der Betroffenen angewiesen. Im Idealfall stehen hierfür psychometrisch geprüfte und standardisierte Fragebögen zur Verfügung.

Im Zusammenhang mit derartigen Beschwerdebildern steht die Frage, ob es in der Bevölkerung empfindliche Gruppen gibt, die eher an solchen Befindlichkeitsstörungen erkranken, weil sie auf EMF besonders sensibel reagieren (vgl. Bergqvist et al. 1997). Hierfür hat sich in Deutschland der Begriff „Elektrosensibilität“ eingebürgert.

²⁰ Zum Problem „Elektrosensibilität / Elektrosensitivität“ siehe auch das folgende Kapitel.

Bedeutung für die Risikobewertung:

Die Frage, ob Befindlichkeitsstörungen überhaupt für eine Risikobewertung relevant sind, hängt wesentlich davon ab, ob man sie als Krankheit oder zumindest Indikator für gesundheitliche Schädigung ansieht, oder ihnen nur den Status einer Belästigung zuschreibt, die unangenehm, aber gesundheitlich nicht bedeutsam ist.

Versteht man Gesundheit im Sinne der Definition der Weltgesundheitsorganisation („Gesundheit ist ein Zustand vollkommenen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens und nicht allein das Fehlen von Krankheit und Gebrechen“ WHO 1948), so sind Befindlichkeitsstörungen zweifellos als eine Beeinträchtigung der Gesundheit zu werten. Aber auch, wenn man sich dieser sehr weit gefassten Definition nicht anschließt, ist doch zumindest für schwerwiegende Befindlichkeitsstörungen ein Zusammenhang mit Schädigungen der Gesundheit gegeben. Beispielsweise können andauernde Schlafstörungen zu einer Schwächung des Immunsystems führen (vgl. Bryant, Trinder & Curtis 2004). Es erscheint deshalb sinnvoll, auch Befindlichkeitsstörungen bei der Risikobewertung des Mobilfunks zu berücksichtigen.

5.5.1 Erkenntnisstand im Jahr 2000

Das Thema Befindlichkeitsstörungen wird in dem Gutachten der Strahlenschutzkommission (SSK 2001) nicht behandelt.

Die Einschätzung der *Independent Expert Group on Mobile Phones* (IEGMP 2000) lautet:

Apart from the risks associated with the use of mobile phones while driving [...] there is no persuasive epidemiological evidence that exposure to RF radiation in general – or to the limited extent that it has been investigated, mobile-phone-related exposures in particular – causes disease in people. Although the epidemiological research that has been carried out to date does not give cause for concern, it has too many limitations to give reassurance that there is no hazard. A substantial number of people report symptoms such as fatigue, headache and feelings of warmth behind the ear that occur during or shortly after the use of mobile phones. However, it is unclear to what extent, if any, these symptoms are caused by RF radiation. (S. 99)

5.5.2 Ergebnisse der Gutachten und der Diskussion

Die beiden Gutachter(gruppen) Dr. Seitz, Dr. Stinner, Prof. Dr. Eikmann (Gießen) und Dr. Rösli (Bern) haben getrennte Gutachten vorgelegt. Beratender Experte für dieses Themenfeld war PD Dr. Wiesmüller (Umweltmedizinische Ambulanz des Universitätsklinikums Aachen, Medizinische Fakultät der RWTH Aachen).

Für die Risikobewertung haben die Gutachter 11 Endpunkte definiert (siehe Tabelle 8) und sich auf eine Liste von Studien geeinigt, die für die Risikobewertung herangezogen werden. In den meisten dieser Studien werden, wie aus Tabelle 9 ersichtlich ist, mehrere Endpunkte untersucht. Fast alle Arbeiten betrachten die Exposition durch Mobilfunktelefone; nur Hutter et al. (2002), Navarro et al. (2003) und Zwamborn et al. (2003) untersuchen die Exposition durch Basisstationen.

Tabelle 8: Endpunkte für die Risikobewertung zu Befindlichkeitsstörungen

1. Müdigkeit, Schlafstörungen
2. Schwindel, Übelkeit
3. Kopfschmerzen
4. Konzentrationsschwierigkeiten, Gedächtnisstörungen
5. Schmerzen, außer Kopfschmerz
6. Nervosität
7. Depressive Verstimmung, Niedergeschlagenheit
8. Hautprobleme: Juckreiz, Kribbeln, Rötungen
9. Wärmegefühl der Haut: Brennen, „warmes Ohr“
10. Tinnitus (Diagnose), Ohrgeräusche
11. Elektromagnetische Hypersensibilität und Wahrnehmen elektromagnetischer Felder

Tabelle 9: Studien zu Befindlichkeitsstörungen (basiert auf den Angaben in den beiden Gutachten)

Autoren	Typ	Endpunkte (Erläuterungen siehe Tabelle 8)											Bewertung ^(a)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Qualität	Kausalnachweis
Chia et al. (2000)	Querschnitt	X	X	X	X	X				X			+	-
Croft et al. (2002)	Crossover											X	+	+
Frick et al. (2002)	Querschnitt	X	X	X	X	X	X	X	X	X			+	-
Hietanen et al. (2002)	Crossover											X	-	+
Hillert et al. (2001)	Experiment	X											+	-
Huber et al. (2000)	Crossover	X											+	+
Hutter et al. (2002) ^(b)	Querschnitt	X											+	-
Koivisto et al. (2001)	Crossover	X	X	X	X					X			+	+
Navarro et al. (2003)	Querschnitt	X	X	X	X	X		X			X		-	-
Oftedal et al. (2000) Sandström et al. (2001) Wilen et al. (2003)	Querschnitt	X	X	X	X	X				X			+	-
Ozturan et al. (2002)	Crossover										X		-	+
Raczek et al. (2000)	Crossover											X	+	+
Rööslı et al. (2004)	Querschnitt	X	X	X	X	X	X	X	X		X		+	-
Santini et al. (2001a) Santini et al. (2002) Santini et al. (2003)	Querschnitt	X	X	X	X	X		X			X		-	-
Santini et al. (2001b)	Querschnitt	X		X	X	X				X			+	-
Tahvanainen et al. (2004)	Crossover											X	+	+
Zwamborn et al. (2003)	Crossover			X				X				X	+	+

(a) Studienqualität: + = gut; - = ungenügend.

Kausalnachweis: + = Studiendesign zweckmäßig für Nachweis kausaler Zusammenhänge;

- = Studiendesign nicht zweckmäßig.

(b) Diese Studie wurde nur von Rööslı berücksichtigt.

Evidenzbasis (Studien seit dem Jahr 2000)

Die abgestimmte Literaturrecherche der beiden Gutachtergruppen ergab insgesamt 17 Studien, die für die Bewertung der Endpunkte inhaltlich relevant waren.²¹ Allerdings sind nach Einschätzung der Gutachter nicht alle Studien gleichermaßen für die Risikobewertung geeignet: zum einen weisen einige Arbeiten erhebliche Qualitätsmängel auf, zum anderen sind sie wegen ihres Studiendesigns nicht alle für den Nachweis eines Kausalzusammenhangs zwischen HF-EMF Exposition und Befindlichkeitsstörungen geeignet.²² Die Bewertung der Qualität der Arbeiten sowie ihrer Eignung für einen Kausalnachweis ist in Tabelle 9 wiedergegeben. Wir folgen dabei den Gutachtern.

Im folgenden werden die wichtigsten Pro- und Contra-Argumente, die Schlussfolgerungen sowie die verbleibenden Unsicherheiten aus der Sicht der Gutachter zusammengefasst in einem Evidenz-Schema dargestellt. Dabei werden drei Gruppen von Endpunkten unterschieden:

- (1) der Endpunkt *Kopfschmerz*, für den nach Einschätzung der Gutachter die meisten übereinstimmenden Ergebnisse vorliegen,
- (2) Endpunkte, für die entweder kein Zusammenhang gefunden wurde oder die vorhandenen Studien methodisch fragwürdig sind. Es handelt sich hier um *Müdigkeit / Schlafstörungen, Schwindel / Übelkeit, Schmerzen (außer Kopfschmerz), depressive Verstimmung / Niedergeschlagenheit, Hautprobleme, Tinnitus / Ohrgeräusche, Nervosität sowie Konzentrationsschwierigkeiten / Gedächtnisstörungen*, und
- (3) Endpunkte, für die es wahrscheinlich keinen Zusammenhang mit HF EMF Exposition gibt. Hierbei geht es um *Feldwahrnehmung, Hypersensitivität und Wärmegefühl der Haut*.

Diese drei Gruppen von Endpunkten werden im folgenden getrennt dargestellt.

Evidenz-Schema für den Endpunkt 1:

Für die Bewertung des Endpunkts *Kopfschmerz* sind sieben Studien relevant, deren Ergebnisse die Basis für das Pro- und Contra-Argument bilden (siehe Abbildung 8).

²¹ Die Mehrfachveröffentlichungen der gleichen Studien bzw. Daten von Santini et al. sowie von Oftedal/Sandström/Wilen wurden jeweils als eine Studie betrachtet.

²² Siehe dazu das Kapitel „Qualitätsbeurteilung“ in den Gutachten von Rösli und Seitz, Stinner & Eikmann.

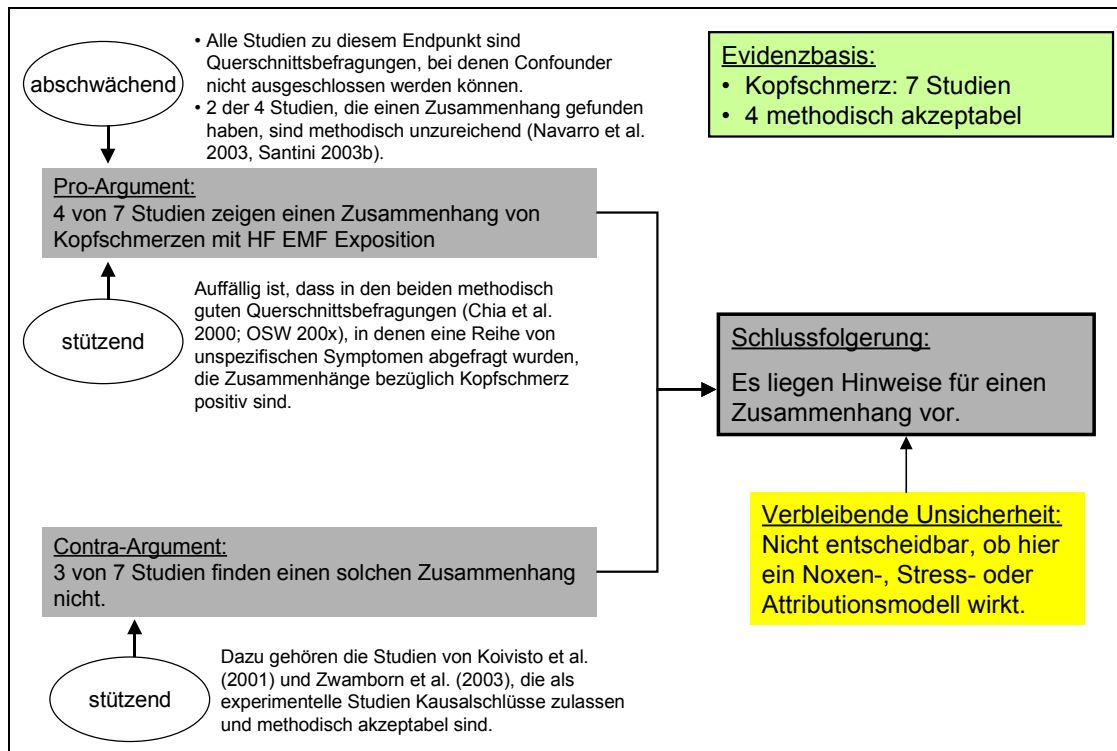


Abbildung 8: Evidenz-Schema für den Endpunkt 1

Pro-Argument:

Für den Endpunkt Kopfschmerz zeigen 4 von 7 Studien einen Zusammenhang mit HF EMF Exposition. Dabei handelt es sich um folgende Studien: Chia et al. (2000); Navarro et al. (2003), OSW (200x)²³, Santini (2003b). Das Pro-Argument wird dadurch gestützt, dass in den beiden methodisch akzeptablen Querschnittsbefragungen (Chia et al. 2000; OSW 200x), in denen eine Reihe unspezifischer Symptome abgefragt wurden, die Zusammenhänge bezüglich Kopfschmerz positiv sind.

Abschwächend ist, dass bei allen diesen Studien, weil sie Querschnittsbefragungen sind, Confounder nicht ausgeschlossen werden können. Und die beiden anderen Studien, die einen Zusammenhang gefunden haben (Navarro et al. 2003, Santini 2003b), sind methodisch so unzureichend, dass sie bei der Bewertung nicht berücksichtigt werden können.

Contra-Argument:

3 von 7 Studien finden keinen Zusammenhang zwischen Kopfschmerz und HF EMF Exposition (Koivisto et al. 2001; Santini 2001b, Zwamborn et al. 2003). Stützend für dieses Argument ist, dass hierzu die Untersuchung von Koivisto et al. (2001) gehört, die die einzige Arbeit zum Endpunkt Kopfschmerz ist, die sowohl wissenschaftlichen Qualitätsansprüchen genügt als auch hinsichtlich des Studiendesigns für die Bewertung eines Kausalzusammenhangs geeignet ist.

Schlussfolgerungen

²³ Die verschiedenen Arbeiten von Oftedal/Sandström/Wilen werden hier zusammenfassend als OSW 200x abgekürzt.

Die Gutachter kommen für die Bewertung des Endpunkts „Kopfschmerz“ übereinstimmend zu der Einschätzung, dass die wissenschaftlichen Studien Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Kopfschmerz und Exposition mit elektromagnetischen Feldern liefern.

Verbleibende Unsicherheiten

Es ist aber nicht klar, wie diese Hinweise auf einen Zusammenhang zu interpretieren sind. Bullinger & Guski (1997, 51f.) diskutieren drei Modelle von Wirkmechanismen für umweltbedingte Befindlichkeitsstörungen: Noxen-, Stress- und Attributionsmodell. Sind es tatsächlich die elektromagnetischen Felder selbst, die Kopfschmerzen hervorrufen können (Noxenmodell)? Gehen Expositionssituationen mit Stress einher – und dieser Stress verursacht die Kopfschmerzen (Stressmodell)? Oder schreiben die Betroffenen ihre Kopfschmerzen der EMF Exposition zu (Attributionsmodell)?²⁴

Evidenz-Schema für die Endpunkt-Gruppe 2:

Diese Gruppe umfasst die Endpunkte *Müdigkeit / Schlafstörungen, Schwindel / Übelkeit, Schmerzen (außer Kopfschmerz), depressive Verstimmung / Niedergeschlagenheit, Hautprobleme, Tinnitus / Ohrgeräusche, Nervosität sowie Konzentrations-schwierigkeiten / Gedächtnisstörungen*. Für ihre Bewertung sind 17 Studien relevant. Nach Ansicht der Gutachter finden sich zwei Studien, die sich für eine Prüfung einer Kausalhypothese eignen und gleichzeitig methodische Qualitätsanforderungen erfüllen. Es handelt sich um die Arbeiten von Koivisto et al. (2001) und Zwamborn et al. (2003). Die Pro- und Contra-Argumente sind in Abbildung 9 dargestellt.

²⁴ Im letzten Fall müsste man allerdings weitreichende Annahmen machen: Denn wenn etwa in der Studie von Chia et al. (2000) die Untersuchungsteilnehmer zunächst danach gefragt wurden, ob sie unter Kopfschmerzen leiden und sie danach angeben sollten, wie häufig sie ihr Handy nutzen, so lässt sich der von Chia et al. gefundene Zusammenhang nur dann mit dem Attributionsmodell erklären, wenn man eine selektiv verzerrte Erinnerung (*recall bias*) unterstellt. Das heißt, Personen mit Kopfschmerzen, die ihre Kopfschmerzen der Handynutzung zuschreiben, würden deshalb längere Handynutzungszeiten angeben als Personen ohne Kopfschmerzen.

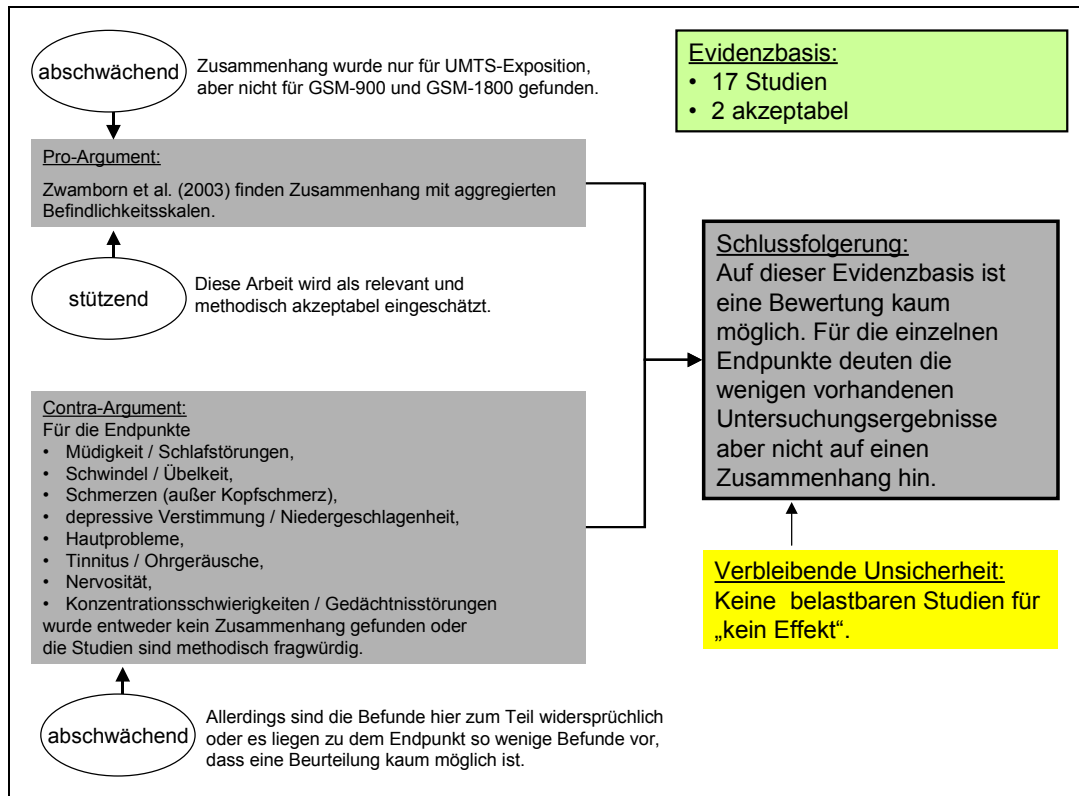


Abbildung 9: Evidenz-Schema für Endpunkt-Gruppe 2

Pro-Argument:

Das Pro-Argument basiert auf den Ergebnissen der experimentellen Untersuchung von Zwamborn et al. (2003), in der mit Fragebögen eine Reihe unterschiedlichster Symptome von Befindlichkeitsstörungen abgefragt und zu Summenwerten aggregiert wurden. Im Experiment zeigte sich dann ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Feldexposition und den aggregierten Summenwerten. Gestützt wird dieses Argument dadurch, dass die Arbeit von Zwamborn et al. von den Gutachtern als eine der wenigen Studien gewertet wird, die hinsichtlich ihrer sowohl methodischen Qualität wie auch ihrer Brauchbarkeit für einen Kausalnachweis zu den guten Arbeiten zählt.

Abgeschwächt wird das Argument dadurch, dass dieser Zusammenhang zwischen Feldexposition und Befindlichkeitseinschätzungen nur bei Exposition mit UMTS-Feldern, nicht aber für GSM-900 und GSM-1800-Felder gefunden wurde. Eine plausible Erklärung für diese selektive Wirkung liegt nicht vor.

Contra-Argument:

Das Contra-Argument ist, dass für die Endpunkte *Müdigkeit / Schlafstörungen, Schwindel / Übelkeit, Schmerzen (außer Kopfschmerz), depressive Verstimmung / Niedergeschlagenheit, Hautprobleme, Tinnitus / Ohrgeräusche, Nervosität* sowie *Konzentrationsschwierigkeiten / Gedächtnisstörungen* in Studien entweder kein Zusammenhang gefunden wurde oder die Arbeiten sind methodisch fragwürdig. Abgeschwächt wird dieses Argument dadurch, dass die Befunde hier zum Teil widersprüchlich sind oder es liegen zu dem Endpunkt so wenige Befunde vor, dass eine fundierte Beurteilung kaum möglich ist.

Schlussfolgerung

Für die Endpunktgruppe 2 (*Müdigkeit / Schlafstörungen, Schwindel / Übelkeit, Schmerzen (außer Kopfschmerz), depressive Verstimmung / Niedergeschlagenheit, Hautprobleme, Tinnitus / Ohrgeräusche, Nervosität sowie Konzentrationsschwierigkeiten / Gedächtnisstörungen*) ist die Befundlage aus Sicht der Gutachter so schwach, dass eine Bewertung kaum möglich ist. Allerdings deuten aus ihrer Sicht die wenigen vorhandenen Untersuchungsergebnisse nicht auf einen Zusammenhang mit HF EMF Exposition hin.

Verbleibende Unsicherheiten

Wegen des Mangels an belastbaren Untersuchungen verbleibt als Unsicherheit bei der Bewertung, dass ein Effekt nicht ausgeschlossen werden kann.

Evidenz-Schema für die Endpunkt-Gruppe 3:

Hier geht es um drei Endpunkte: *Wärmegefühl, Feldwahrnehmung* und *Hypersensibilität*. Da oben in Tabelle 9 nicht zwischen Hypersensibilität und Wahrnehmen elektromagnetischer Felder (Feldwahrnehmung) unterschieden wurde, schlüsselt Tabelle 10 noch einmal auf, welche Studien welchen Aspekt untersuchen.

Dabei ist zu beachten, dass es zum Teil erhebliche begriffliche Probleme gibt, da gleiche Begriffe für unterschiedliche Sachverhalte benutzt werden (vgl. David et al. 2002, S. 9; Leitgeb 1998, S. 11):

- Hypersensibilität meint die im Vergleich zur Normalbevölkerung erhöhte Empfindlichkeit, mit Beschwerden auf EMF zu reagieren. Zur Überprüfung dieses Begriffs von „Hypersensibilität“ müsste untersucht werden, ob es bei einer Personengruppe schon bei geringen Expositionsstärken Befindlichkeitsstörungen gibt, die sich bei gleicher Expositionsstärke in der Normalbevölkerung (den Nicht-Hypersensiblen) nicht zeigen.
- Ein anderes Verständnis liegt zugrunde, wenn Hypersensibilität als Selbstdiagnose begriffen wird. Hier attribuieren die Betroffenen, dass ihre Befindlichkeitsstörungen durch EMF verursacht werden. Um dieses Konzept von „Hypersensibilität“ zu überprüfen, müsste untersucht werden, ob die Befindlichkeitsstörungen nur bei entsprechenden Expositionen auftreten.
- Davon noch einmal zu trennen sind Untersuchungen, die versuchen festzustellen, ob EMF-Expositionen generell Befindlichkeitsstörungen bewirken können, wobei Befindlichkeitsstörungen jeweils durch eine Reihe verschiedener Symptomskalen erfasst werden können.

In den Gutachten werden Arbeiten aus den letzten beiden Bereichen unter „Feldwahrnehmung/Hypersensibilität“ diskutiert. Es fällt auf, dass Hypersensibilität im Sinne einer Unterscheidung von Hypersensiblen und Nicht-Hypersensiblen bislang – methodisch sauber – nicht untersucht wurde.

Die meisten Studien liegen zur Frage vor, ob EMF generell Befindlichkeitsstörungen bewirken können (siehe Tabelle 10). Diese Studien werden wir jedoch nicht weiter im Kontext „Hypersensibilität und Feldwahrnehmung“ betrachten.

Tabelle 10: Studien zu Hypersensibilität und Wahrnehmen elektromagnetischer Felder

Studie	Probanden	Feldwahrnehmung	Hypersensibilität	Befindlichkeitsstörungen generell
Croft et al. (2002)	Gesunde Freiwillige	–	–	Keine Unterschiede zw. den Expositionsszenarien und subjektiver Aktivationsmessung (gemessen als Mittelwert aus den Skalen tense, calm, exited, tired)
Hietanen et al. (2002)	Selbstdiagnose: Elektrosensibel	Kein Effekt	Bei Scheinexposition mehr Symptome; Studie hat Mängel: keine belastbaren Aussagen.	–
Koivisto et al. (2001)	Gesunde Freiwillige	–	–	Kein Zusammenhang zw. Exposition und Befindlichkeit (Kopfschmerz, Benommenheit, Müdigkeit, Hautrötung, Jucken, Wärmegefühl)
Raczek et al. (2000)	Diagnostizierte Umweltkranke	Kein Effekt	–	–
Tahvanainen et al. (2004)	Gesunde Freiwillige	Wurde im Experiment untersucht, Ergebnisse werden aber nicht berichtet	–	Ergebnisdarstellung nicht transparent – nicht nachvollziehbar Keine Unterschiede zw. den Expositionsszenarien bei subjektiven Symptomen
Zwamborn et al. (2003)	Gesunde Personen + Selbstdiagnose: Elektrosensibel	–	Vergleich der beiden Gruppen nicht möglich, da Stichprobencharakteristika verschieden.	Nur bei UMTS-Signal Veränderungen bzgl. Befindlichkeit bei beiden Gruppen

Nur zwei Studien (Hietanen et al. 2002; Zwamborn et al. 2003) untersuchen, ob die Selbstdiagnose „hyper-sensibel“ zutrifft (siehe dazu auch unten die Anmerkungen im Abschnitt „Einschätzung durch MUT“). Die Feldwahrnehmung wird in drei Studien untersucht (Raczek et al. 2000, Tahvanainen et al. 2004, Hietanen et al. 2002).

Die Pro- und Contra-Argumente sind in dem folgenden Evidenz-Schema zusammengefasst (siehe Abbildung 10).

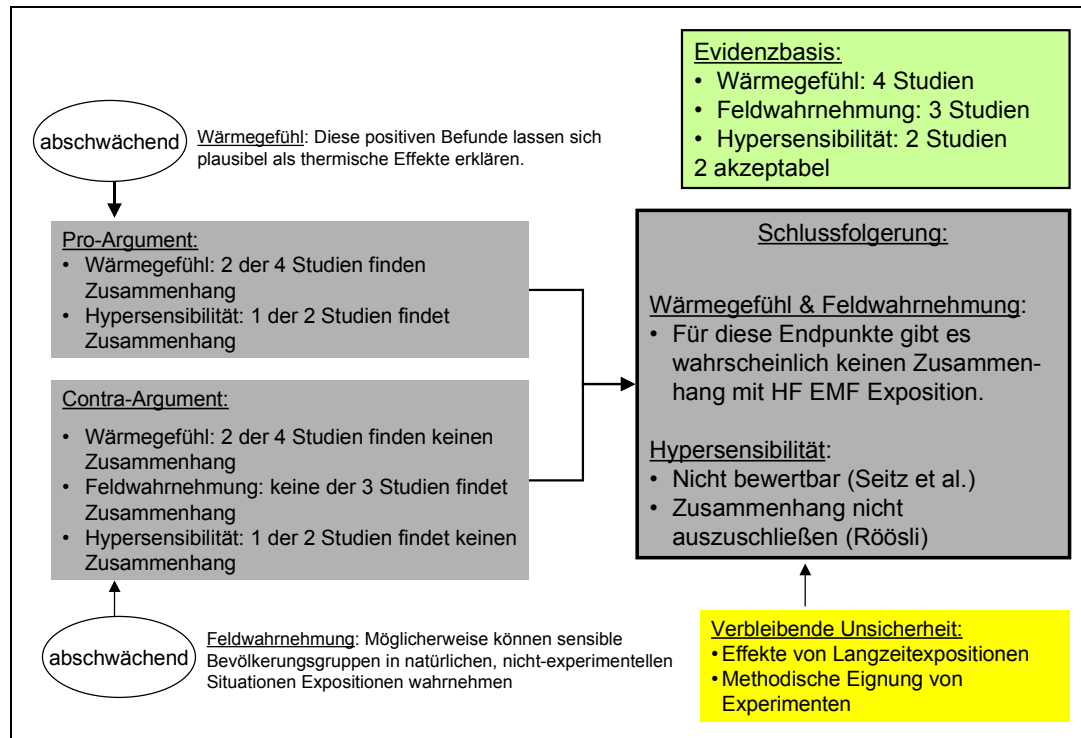


Abbildung 10: Evidenz-Schema für Endpunkt-Gruppe 3

Pro-Argument:

Für den Endpunkt *Wärmegefühl* verweist das Pro-Argument darauf, dass in zwei der vier Studien ein Zusammenhang mit der HF-EMF Exposition gefunden wurde. Abgeschwächt wird dieses Argument dadurch, dass sich diese positiven Befunde plausibel durch die Abwärme des Telefons erklären lassen.

Das Pro-Argument für den Endpunkt *Hypersensibilität* verweist darauf, dass nach Auffassung von Rööslì (siehe Gutachten S. G-29) eine der beiden relevanten Studien einen Hinweis findet (Zwamborn et al. 2003).

Für den Endpunkt *Feldwahrnehmung* (d.h. die Fähigkeit, hochfrequente elektromagnetische Felder zu „spüren“), gibt es kein Pro-Argument, da hierfür aus keiner der Studien, in denen dieses Phänomen untersucht worden ist, ein positiver Befund vorliegt.

Contra-Argument:

Für den Endpunkt *Wärmegefühl* verweist das Contra-Argument darauf, dass in zwei der vier Studien kein Zusammenhang mit der HF-EMF Exposition gefunden wurde.

Das Contra-Argument für den Endpunkt *Hypersensibilität* verweist darauf, dass eine der beiden Studien (Hietanen et al. 2002) keinen Zusammenhang findet, diese Studie wird aber von den Gutachtern als nicht belastbar eingestuft.

Das Contra-Argument für den Endpunkt *Feldwahrnehmung* ist, dass in keiner der Studien, in denen dieses Phänomen untersucht wurde, die Untersuchungsteilnehmer in der Lage waren, überzufällig häufig eine Exposition mit HF EMF zu „spüren“. Ge-

stützt wird dieses Argument durch den negativen Befund der methodisch geeigneten und qualitativ guten Studie von Raczek et al. (2000). Abgeschwächt wird dieses Argument durch die Möglichkeit, dass der in den Untersuchungen verwendete experimentelle Ansatz für eine Untersuchung der Feldwahrnehmung ungeeignet sein könnte. Möglicherweise können sensible Bevölkerungsgruppen in natürlichen, nicht-experimentellen Situationen Expositionen mit elektromagnetischen Feldern wahrnehmen, sind aber unter Laborbedingungen hierzu nicht in der Lage (siehe dazu das Gutachten von Röösl, S. G-29).

Schlussfolgerung

Während bezüglich der *Wärmewirkungen* die Gutachter einen Zusammenhang mit HF EMF für unwahrscheinlich halten und hierbei keine gravierenden Unsicherheiten annehmen, ist dies in Bezug auf die *Feldwahrnehmung* und *Hypersensitivität* etwas anders. Einerseits wird festgestellt, dass es nicht gesichert ist, ob eine Krankheits-einheit „Hypersensibilität“ überhaupt existiert (Gutachten von Seitz, Stinner & Eikmann, S. F-6ff., F-26ff., F-29f.). Andererseits wird gefragt, ob experimentelle Studien Langzeit- oder Kumulativ-Effekte überhaupt erfassen können. Demzufolge kommen die beiden Gutachter(gruppen) zu unterschiedlichen Bewertungen: Während Seitz, Stinner & Eikmann aufgrund der Datenlage meinen, dass hier eine Bewertung nicht möglich ist, lautet die Einschätzung von Röösl, dass ein Zusammenhang nicht ausgeschlossen werden kann, weil es noch zu wenige Untersuchungen gibt.

Verbleibende Unsicherheit

Unsicherheiten bei der Evidenzbewertung ergeben sich vor allem aus zwei Punkten: Zum einen können die bisherigen Studien noch keine Aussage über Effekte von Langzeitexpositionen machen. Zum anderen ist zu fragen, ob experimentelle Studien überhaupt geeignet sind, Unterschiede zwischen Menschen bezüglich Feldwahrnehmung bzw. Hypersensitivität zu erfassen.

5.5.3 Einschätzung durch MUT

Die Bewertung des Endpunktes „Befindlichkeitsstörungen“ ist besonders schwierig, da es sich um ein Konzept handelt, das ausgesprochen vage ist. Hier hilft auch die Ausdifferenzierung in eine Reihe von spezifischeren Endpunkten nur teilweise. Die Beschwerdebilder sind sowohl diffus als auch weit verbreitet und somit unspezifisch, was eine Beurteilung von spezifischen Verursachungen erschwert.

Unschärf ist insbesondere die unterschiedliche begriffliche Fassung der Hypersensitivität. Selbst wenn sie von der Feldwahrnehmung getrennt wird, verbleiben hier noch konzeptionelle Unschärfen. Bedeutet Hypersensibilität dann die Ausprägung von Symptomen in Zusammenhang mit einer EMF-Exposition ganz allgemein (siehe das Gutachten von Röösl, S. G-29) oder handelt es sich um eine Selbstdiagnose von Patienten, die ihre Beschwerden auf EMF zurückführen (diese Auffassung teilen offenbar Seitz, Stinner & Eikmann, siehe in ihrem Gutachten S. F-26ff.)? Oder ist Hypersensibilität nicht vielmehr – was die Vorsilbe „Hyper“ andeutet – eine gesteigerte Empfindlichkeit gegenüber EMF? Dann müssten sich Unterschiede *zwischen* Hypersensiblen und Nicht-Hypersensiblen zeigen. Eine belastbare Studie, die dies untersucht hätte, gibt es aber bislang nicht (siehe oben Tabelle 10).

Weiterhin sind insgesamt nur 3 Arbeiten (Koivisto et al. 2001, Raczek et al. 2000 und Zwamborn et al. 2003) vorhanden, die unter Eignungs- und Qualitäts-Aspekten überhaupt für eine Bewertung von Kausalitätshypothesen herangezogen werden können. Dabei erbringen die Studien von Koivisto et al. und Raczek et al. negative Befunde. Hingegen finden sich bei Zwamborn et. al. (2003) selektive Zusammenhänge zwischen Wohlbefinden und HF-EMF Expositionen: Bei GSM keine, wohl aber bei UMTS-Expositionen. Unklar ist, wie dies zu werten ist.

Auffällig sind auch die Maßstabsdifferenzen der Gutachter bei den verschiedenen Endpunkten. Beispielsweise werden in Bezug auf Kopfschmerz Hinweise auf einen Zusammenhang mit Mobilfunkexposition gesehen, obwohl keine der Arbeiten, auf die sich die Hinweise gründen, für die Bewertung von Kausalitätshypothesen geeignet ist. Dagegen wird aus den Studien von Koivisto et al. (2001) und Zwamborn et al. (2003) keine solche prominente Schlussfolgerung gezogen, obwohl diese unter Design- und Qualitätsaspekten zu den wenigen Arbeiten zählen, die einen Kausalzusammenhang prüfen können.

In den Workshopdiskussionen wurde zudem deutlich, warum eine eindeutige Bewertung eines möglichen Zusammenhangs zwischen HF EMF Exposition und Befindlichkeitsstörungen so schwierig ist:

- Die meisten Befindlichkeitsstörungen kommen generell sehr häufig in der Bevölkerung vor, daher können sie auch viele andere Ursachen haben.
- Unspezifische Symptome sind stark subjektiv geprägt und methodisch sehr schwer objektivierbar. Im Projektabschlussworkshop wurde von verschiedenen Teilnehmern darauf hingewiesen, dass in vielen Studien beispielsweise „Kopfschmerz“ überhaupt nicht definiert wird, dabei gibt es eine große Vielfalt möglicher Ausprägungen dieser Beschwerdeart (Augendruck, Spannungsschmerz, dauerhafter oder unterbrochener Schmerz, etc.). In Untersuchungsfragebögen wird meist nur abgefragt, hat der/die Proband/in Kopfschmerzen oder nicht. Das Empfinden von Kopfschmerzen ist aber sehr subjektiv, es ist sogar denkbar, dass dasselbe Phänomen der eine als „Kopfschmerz“, der andere als „kein Kopfschmerz“ bezeichnet.
- Bei Untersuchungen von Befindlichkeitsstörungen durch HF EMF-Exposition besteht das Problem, dass die klassischen standardisierten Erhebungsinstrumente, die aus dem psychosomatischen Bereich kommen (z.B. SF-36) zu grob sind, um Zusammenhänge überhaupt feststellen zu können. Es ist fraglich, ob ein Zusammenhang zwischen HF EMF-Exposition und Befindlichkeitsstörungen überhaupt eindeutig nachgewiesen werden kann; bisher fehlt ein solcher Nachweis. Bei Konzentrationsstörungen und Feldwahrnehmung stellt sich auch die Frage, sind die angewandten Untersuchungsdesigns überhaupt dazu geeignet, diese Endpunkte zu testen.
- Die tatsächliche Exposition wurde in keiner der verfügbaren Studien erfasst. Problematisch ist insbesondere die Gefahr der Missinterpretation der Exposition. Zur Objektivierung der Exposition ist sowohl kurzfristige als auch langfristige Exposition notwendig. Wünschenswert wäre eine Personendosimetrie.
- Bei epidemiologischen Studien ist ein großes Kollektiv erforderlich, um mehr Aussagekraft zu gewährleisten – die vorliegenden Studien erfüllen diese Anforderung nur eingeschränkt.

- Unsicherheiten bei der Bewertung ergeben sich auch aus den bislang noch nicht untersuchten Folgen einer Langzeitexposition mit HF EMF.
- Eine abschließende Aussage ist deshalb zu keinem der Endpunkte möglich, da die Ergebnisse der Studien recht widersprüchlich sind. Ohne dass ein Wirkungsmechanismus bekannt ist oder zumindest eine Hypothese dazu, ist die Aussagekraft gefundener Assoziationen gering.

Für Befindlichkeitsstörungen lassen sich derzeit kaum belastbare Aussagen dazu machen, ob diese durch HF EMF verursacht werden können. Deshalb reflektieren hier Bewertungsunterschiede in besonderer Weise auch die persönlichen Werthaltungen der Gutachter.

5.6 Blut-Hirn-Schranke

Ansatz

Die Blut-Hirn-Schranke (BHS) ist eine hirnspezifische Gefäßschranke, die im Gegensatz zu den Blutgefäßen aller anderen Körperorgane den freien Übertritt von Proteinen aus dem Blut in das Gewebe verhindert. Damit regelt sie die Zufuhr der vom Gehirn benötigten Nähr- und Stoffwechselfsubstrate (insbesondere Glukose und Aminosäuren), sie wirkt aber gleichzeitig auch als „Schutzschild“, indem sie das Eindringen von potenziell schädlichen Stoffen aus den Blutkapillaren in die Hirnflüssigkeit verhindert. Der Schrankeneffekt beruht darauf, dass die Endothelzellen der Hirngefäße – im Gegensatz zu den Körpergefäßen – durch sogenannte *tight junctions* miteinander verlötet sind, die den freien Stoffaustausch zwischen Gefäßlumen und dem extrazellulären Raum des Gehirns verhindern. Statt dessen müssen alle Substrate, die aus dem Blut in das Hirn oder aus dem Hirn in das Blut übertreten, die Endothelzellen und ihre Membranen passieren. Für nicht-fettlösliche Stoffe sind hierfür hirnspezifische Transportsysteme erforderlich, die eine präzise Regelung des Stoffaustausches ermöglichen.

Störungen der Blut-Hirn-Schranke, d.h. Veränderungen ihrer Durchlässigkeit (Permeabilität), können Hirnödeme verursachen, die – wenn sie eine bestimmte Größe überschreiten – einen Anstieg des intrakraniellen Druckes und damit Störungen der Durchblutung bewirken. Dies wiederum kann zu einer Beeinträchtigung des Energiestoffwechsels und zu sekundären biochemischen Störungen führen. Denkbar ist ebenfalls, dass bei einer Störung der Blut-Hirn-Schranke toxische Stoffe in das ZNS eindringen und dort Schäden verursachen. Solche Störungen können zum Beispiel durch starken Alkoholkonsum oder durch einen Hitzeschock verursacht werden.

Bedeutung für die Risikobewertung

Aus der Funktionsweise der Blut-Hirn-Schranke ergibt sich unmittelbar, dass eine Störung der BHS potenziell gesundheitsrelevant ist. Für hohe SAR-Werte haben verschiedene Untersuchungen eine erhöhte Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke nachgewiesen; diese wird aber auf thermische Effekte zurückgeführt (vgl. Hossmann & Hermann 2003). Strittig ist, ob auch Expositionen mit schwachen elektromagnetischen Feldern – wie zum Beispiel Mobilfunkfelder – eine Blut-Hirn-Schrankenstörung hervorrufen können.

5.6.1 Erkenntnisstand im Jahr 2000

Zum Erkenntnisstand des Jahres 2000 über mögliche Risiken einer Störung der Blut-Hirn-Schranke durch elektromagnetische Felder des Mobilfunks führt die Strahlenschutzkommission (SSK 2001) aus:

Es kann zusammengefasst werden, dass die Ergebnisse zu einer expositionsbedingten Permeabilitätsänderung der Blut-Hirn-Schranke kein konsistentes Bild ergeben und lediglich als Hinweise zu werten sind. Die offenen Fragen erfordern in Zukunft vorsorglich weitere Untersuchungen zu dieser Thematik. [S. 34]

Die Einschätzung der *Independent Expert Group on Mobile Phones* (IEGMP 2000) lautet:

The available evidence for an effect of RF exposure on the blood-brain barrier is inconsistent and contradictory. Recent, well-conducted studies have not reported any effects. [S. 60]

5.6.2 Ergebnisse des Gutachtens und der Diskussion

Da sich in der von den Gutachtern gemeinsam durchzuführenden ersten Phase der Gutachtenerstellung (Literatúrauswahl, Festlegung von Qualitätskriterien und zu betrachtenden Endpunkte) herausstellte, dass sich auch bei der Risikobewertung weitgehende Übereinstimmungen ergeben würden, haben sich die beiden Gutachter, Prof. Dr. Hossmann und Prof. Dr. Stögbauer entschlossen, ein gemeinsames Gutachten zu verfassen. Beratender Experte für dieses Themenfeld war Prof. Dr. Rainer Meyer (Physiologisches Institut, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn).

Evidenzbasis (seit 2000)

Für das Gutachten fanden sich in der Literaturrecherche 13 Publikationen, die den Suchkriterien der Gutachter entsprachen. Von diesen erwiesen sich aber nur 5 Arbeiten als Studien, in denen Originalbefunde mitgeteilt wurden (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Originalbefunde zum Thema Blut-Hirn-Schrankenstörung seit dem Jahr 2000

Autoren	Untersuchungsform
Finnie et al. (2001)	in vivo: Mäuse
Finnie et al. (2002)	in vivo: Mäuse
Salford et al. (2003)	in vivo: Ratten
Schirmacher et al. (2000)	in vitro: BHS Modell
Tsurita et al. (2000)	in vivo: Ratten

Diese 5 Studien liefern die Evidenzbasis, auf der die Bewertung möglicher gesundheitlicher Risiken aufgrund einer Störung der Blut-Hirn-Schranke durch elektromagnetische Felder des Mobilfunks beruht.

Pro- und Contra-Argumente

Wie das Evidenz-Schema in Abbildung 11 zeigt, lassen sich aus den vorliegenden Forschungsergebnissen seit dem Jahr 2000 zwei Argumente ableiten, die für ein potentielles Gesundheitsrisiko durch elektromagnetische Felder des Mobilfunks sprechen.

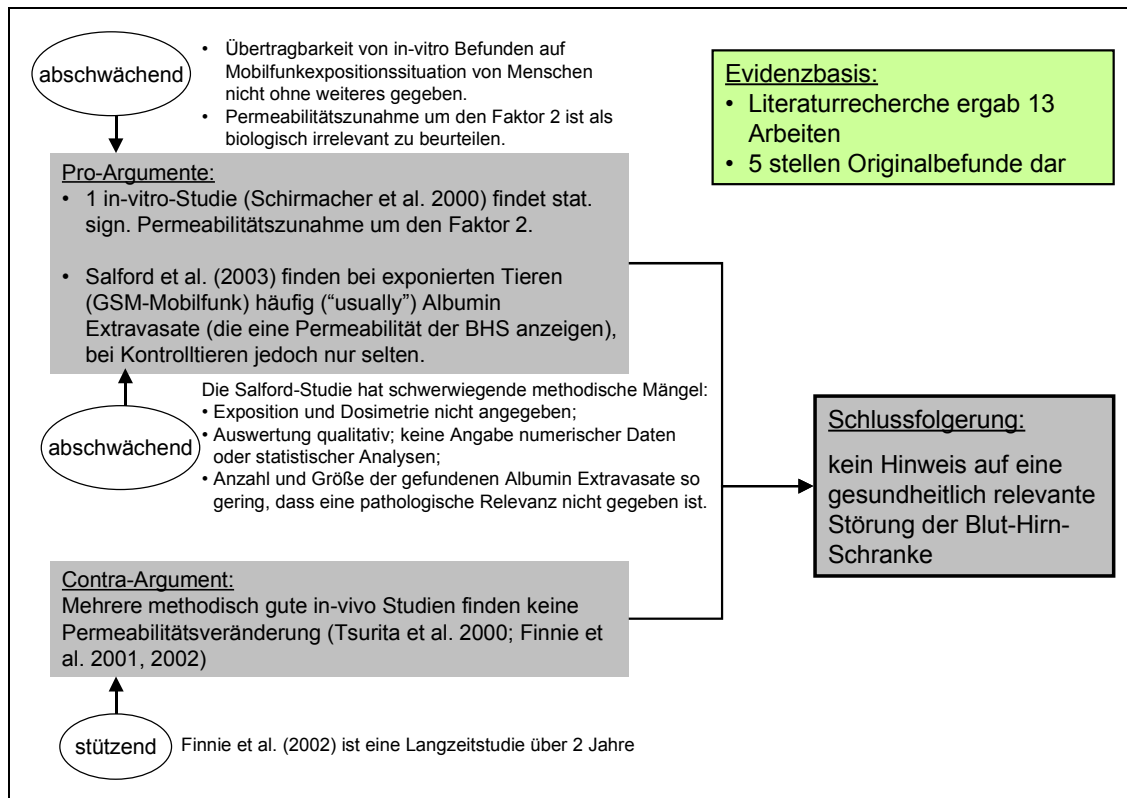


Abbildung 11: Evidenz-Schema zur Blut-Hirn-Schrankenstörung

Pro-Argumente:

Das erste Pro-Argument bezieht sich auf die Studie von Schirmacher et al. (2000), die in ihrer in-vitro Untersuchung an einem Zell-Modell der Blut-Hirn-Schranke eine Permeabilitätszunahme um den Faktor 2 bei einem mobilfunktypischen Feld und einem SAR-Wert von 0.3 W/kg gefunden haben. Dies kann als Hinweis auf eine Veränderung der BHS durch Exposition mit Mobilfunkfeldern verstanden werden.

Allerdings wird dieses Argument durch zwei Einschränkungen abgeschwächt: Die Permeabilitätszunahme um den Faktor 2 ist nach Einschätzung von Hossmann und Stögbauer mit höchster Wahrscheinlichkeit als biologisch irrelevant zu beurteilen, da sich in anderen in vitro Untersuchungen mit BHS Systemen bei Positivkontrollen, wie z.B. Hitzeexposition, eine Permeabilitätszunahme um den Faktor 100 gezeigt hat. Darüber hinaus lassen sich Befunde aus in vitro Untersuchungen nicht direkt auf einen gesamten Organismus und damit auch nicht auf die Mobilfunkexpositionssituation von Menschen übertragen.

Das zweite Pro-Argument basiert auf den Ergebnissen der Studie von Salford et al. (2003). In dieser Untersuchung wurden junge männliche und weibliche Fischer Ratten dem elektromagnetischen Feld eines konventionellen GSM Mobilfunkgeräts exponiert. Salford et al. berichten, dass sich bei nicht exponierten Tieren kaum, bei exponierten Tieren dagegen häufig („usually“) Albumin Extravasate im ZNS finden. Im Prinzip zeigt der Nachweis einer Extravasation von Serumproteinen wie Albumin im ZNS, dass sich die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke unter der Exposition mit Mobilfunkfeldern vergrößert hat.

Dieses Argument wird allerdings durch eine Reihe methodischer Mängel dieser Arbeit abgeschwächt: So fehlen genaue Angaben zur Exposition und Dosimetrie und die Auswertung der Daten erfolgt qualitativ ohne Angaben von Messwerten oder statistischen Analysen. Die in der ersten Online-Version ihrer Publikation als Beleg für die Häufigkeit von Albumin Extravasaten gezeigte Abbildung musste von Salford et al. zurückgezogen werden, da sie aus einer älteren Publikation stammte, in der über eine Untersuchung mit höheren Expositionsstärken oberhalb der Grenzwerte (3.3 W/Kg) berichtet wurde. Die in der korrigierten Abbildung sichtbare Zahl und Größe von Albumin Extravasaten ist nach Einschätzung der Gutachter so gering, dass eine pathologische Relevanz nicht anzunehmen ist.

Contra-Argumente:

Gegen das Vorliegen eines potentiellen Gesundheitsrisikos spricht, dass in drei methodisch gut durchgeführten in-vivo Studien keine Permeabilitätsveränderungen unter Exposition mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks gefunden wurden. Hervorzuheben ist hier insbesondere die Arbeit von Finnie et al. (2002), bei der die Versuchstiere über einen Zeitraum von 2 Jahren exponiert waren, so dass man hier von einer Langzeitexposition sprechen kann.

5.6.3 Schlussfolgerung

Die Schlussfolgerung der Gutachter ist eindeutig: Die seit dem Jahre 2000 veröffentlichten wissenschaftlichen Untersuchungen geben keinen Hinweis auf eine gesundheitlich relevante Störung der Blut-Hirn-Schranke nach Exposition mit elektromagnetischen Feldern im Frequenz- und Intensitätsbereich des Mobilfunks.

5.6.4 Einschätzung durch MUT

Es verbleibt lediglich ein schwacher Unsicherheitsfaktor, der aus der noch nicht bis ins Letzte geklärten Dosis-Wirkungs-Frage herrührt. Die Frage ist, ob eine *chronische* Exposition mit HF EMF eine Veränderung der Blut-Hirn-Schranke bewirken kann. Die Expositionszeiten in den meisten Experimenten – bis auf die Langzeitstudie von Finnie et al. (2002) – sind zu kurz, um dies sicher ausschließen zu können.

Im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung, deren kumulative Wirkung wissenschaftlich nachgewiesen ist, liegt aber keine naturwissenschaftlich nachvollziehbare Erklärung (d.h. Wirkungsmechanismus) einer kumulativen Wirkung von Mikrowellen vor. Zudem gibt die experimentelle Forschung (die Langzeitstudie von Finnie et al. 2002) keinen Hinweis auf eine Blut-Hirn-Schrankenstörung nach längerer Expositionsdauer mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks.

6. Zusammenfassende Diskussion

Nachfolgend sollen die Ergebnisse der Gutachten diskutiert werden. Das Kapitel gliedert sich in folgende Abschnitte: Zu Beginn wird skizziert, wie man von den Bewertungen der Studien in den sechs verschiedenen Themenfeldern zu einer zusammenfassenden Risikobewertung gelangt.

Danach gehen wir auf die Gutachten ein: Zuerst wird beschrieben, wie sich die Datenlage seit dem Jahr 2000 verändert hat: Wie ist die Qualität der seit 2000 veröffentlichten Studien einzuschätzen? Worin bestehen die Fortschritte? Welche Lücken gibt es immer noch?

Im Anschluss daran werden noch einmal die wichtigsten Einschätzungen der Gutachter zu den sechs untersuchten biologischen Endpunkten dargestellt und gezeigt, ob und wie sich die Befundlage im Vergleich zu der Bewertung der SSK von 2001 verändert hat. Abschließend werden Schlussfolgerungen für künftige Risikodialoge gezogen.

6.1 Schritte der Risikoanalyse

„Risiko“ wird zumeist als eine mögliche Gesundheitsschädigung aufgrund einer Exposition mit einem Gefahrenstoff verstanden²⁵. Das Maß für diese Möglichkeit ist die Wahrscheinlichkeit.

Entsprechend dieser Definition lassen sich Risiken sowohl nach der Art und Schwere der möglichen Schädigung als auch nach der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens unterscheiden. Sie können sich aber auch darin unterscheiden, in welchem Maß nachgewiesen ist, dass eine solche Schadenswirkung überhaupt besteht. Um nur zwei Extreme zu nennen: es kann wirklich nachgewiesen sein, es kann aber auch nur vermutet werden, dass von einem Stoff eine Schadenswirkung ausgeht.

Zur bestmöglichen Einschätzung dieser Sachverhalte sind vier aufeinander bezogene Schritte notwendig: (1) die Identifikation des Gefährdungspotenzials, (2) die Abschätzung der Dosis-Wirkungs-Beziehung, (3) die Expositionsabschätzung und (4) die Risikocharakterisierung.

Identifikation des Gefährdungspotenzials: Hier ist zu untersuchen, ob überhaupt Gesundheitsschädigungen vorliegen und ob das Agens²⁶ (d.h. der vermutete Gefahrenstoff) diese verursachen kann.

Eine wesentliche Aufgabe der Gutachter bestand deshalb darin, zu beurteilen, wie gut die vorhandenen Studien kausale Zusammenhänge erfassen können. Damit gestatten die Gutachten eine Aussage darüber, ob die Exposition mit den EMF des Mobilfunks zu bestimmten Wirkungen führt bzw. wie sicher man sich in Bezug auf einen solchen Kausalzusammenhang sein kann.

²⁵ Z.B. die Definition des Bundesinstituts für Risikobewertung: “The probability and severity of an adverse effect / event occurring to man or the environment following exposure, under defined conditions, to a risk source(s).” BfR, 2001, http://www.bfr.bund.de/cm/228/risiko_glossar.pdf

²⁶ Der Begriff „Agens“ wird als Oberbegriff für a) Substanzen (Stoffe, Chemikalien), b) Organismen und c) physikalische Einwirkungen (z.B. Schallwellen, elektromagnetische Felder) verwendet.

Die zweite Aufgabe der Gutachter betraf die Einschätzung der Wirkungen: Welche gesundheitliche Bedeutung haben diese? Hier gibt es eine ganze Reihe von Möglichkeiten: Effekte können offensichtlich gesundheitsschädlich sein, sie können aber auch nur auf eine mögliche Schädigung hinweisen oder aber eine biologische Reaktion darstellen, die keine gesundheitliche Bedeutung hat.

Zur *Identifikation des Gefährdungspotenzials* können deshalb nur die Studien ohne Einschränkung herangezogen werden, die einen Endpunktbereich betreffen, für den nachvollziehbar ist, dass er sich auf eine Gesundheitsschädigung bezieht.

Dosis-Wirkungs-Beziehung: Schon der im 15. Jahrhundert geborene Arzt Paracelsus wusste, dass die Dosis das Gift macht. In kleinen Mengen kann ein Stoff ungefährlich sein. Wird er aber in großen Mengen zugeführt, so vermag er einen Gesundheitsschaden zu bewirken. Bei der Dosis-Wirkungs-Beziehung geht es um den Zusammenhang zwischen Dosis (Aufnahme, Zufuhr, Exposition) auf der einen Seite und Stärke und/oder Häufigkeit von gesundheitlichen Störungen auf der anderen Seite.

Oftmals können Dosis-Wirkungs-Beziehungen nicht gemessen, sondern nur geschätzt werden. Besonders kritisch sind Extrapolationen, d.h. die Übertragung von Abschätzungen

- von kurzfristiger auf chronische Expositionsdauer;
- vom Versuchstier auf den Menschen und
- von Personengruppen mit durchschnittlicher Empfindlichkeit auf Personengruppen mit besonderer Empfindlichkeit.

Für die Schlussfolgerungen aus unseren Gutachten sind alle diese Punkte relevant. So gibt es derzeit keine wissenschaftlich befriedigende Basis, um Zeitextrapolationen bei EMF vorzunehmen. Dies erschwert die Einschätzung, wie eine andauernde, aber niedrige Exposition in der Nähe von Basisstationen gegenüber der kurzzeitigen, aber weit höheren Expositionen durch Mobilfunktelefone zu bewerten ist.

Des Weiteren lassen sich die Befunde aus Tierversuchen nicht immer ohne weiteres auf den Menschen übertragen. Dennoch sind die Tiermodelle für die Abschätzung von Effekten wie Krebs unverzichtbar.

Ähnliche Unsicherheiten zeigen sich hinsichtlich der Übertragbarkeit der Befunde auf verschiedene Gruppen in der Bevölkerung, wobei die Frage der besonderen Empfindlichkeit von Teilgruppen die zentrale Frage ist.

Generell gilt aber folgende Einschränkung, die für unsere nachfolgende Erörterung maßgeblich ist: Von einer Dosis-Wirkungs-Beziehung kann nur dann gesprochen werden, wenn auch eine Wirkung vorliegt. Ist diese jedoch ungewiss, d.h. nicht nachgewiesen, so kann eine Dosis-Wirkungs-Beziehung weder festgestellt noch definitiv ausgeschlossen werden.

Expositionsabschätzung: Unter Expositionsabschätzung versteht man die qualitative und/oder quantitative Beurteilung der wahrscheinlichen Aufnahme des biologischen,

chemischen und physikalischen Agens (d.h. des Gefahrenstoffes).²⁷

Theoretisch wäre es möglich, dass kein Mensch dem Gefahrenstoff ausgesetzt ist. In diesem Fall gäbe es auch kein Risiko. Sind dagegen Menschen dem Gefahrenstoff ausgesetzt, so hängt die Höhe des Risikos davon ab, wer in welchem Umfang exponiert ist. Dabei sind die Umstände der Exposition zu berücksichtigen, wie die Höhe, die Dauer, die Häufigkeit und die Art der Exposition.

Für den Bereich der EMF des Mobilfunks sind aber solche Expositionsabschätzungen erst dann notwendig, wenn sicher ist, dass ein Gefährdungspotenzial vorliegt. Ist dies nicht der Fall, so brächte ein solcher Schritt kaum Erkenntnisse. Um ein plastisches Beispiel zu nennen: Es wäre so, als würde man sich um die Geschlechtsbestimmung eines Fötus bemühen, obwohl man noch nicht einmal sicher weiß, ob eine Schwangerschaft vorliegt.

Bei der Risikocharakterisierung geht es um eine abschließende, entscheidungsorientierte Aufbereitung der gewonnenen Erkenntnisse, die Grundlage des Risikomanagements ist²⁸ und die dem Bedarf und den Interessen von Entscheidungsträgern und von möglicherweise Betroffenen entsprechen sollte. Solche abschließenden Bewertungen bedürfen besonderer Sorgfalt, da ihnen in der öffentlichen Diskussion eine herausragende Bedeutung zukommt.

6.2 Datenlage

Es ist nicht verwunderlich, dass sich – quantitativ betrachtet – die Datenlage für die Risikobewertung des Mobilfunks in den letzten Jahren verbessert hat. Eine solche Entwicklung war wegen der Vielzahl nationaler und internationaler Forschungsprogramme zu Mobilfunk und Gesundheit zu erwarten. Das gilt vor allem für die Epidemiologie von Krebserkrankungen, wo seit dem Jahr 2000 eine Reihe von Studien zu Mobiltelefonen und Krebs publiziert wurden.

Die Qualität der Studien ist jedoch unterschiedlich, je nach Endpunktbereich. Insgesamt können Qualitätsprobleme durch eine Reihe von Umständen bedingt sein, dazu zählen u.a. die Dosimetrie (Wie gut wurden die EMF gemessen bzw. abgeschätzt?), die zuverlässige Messbarkeit der Endpunkte, die Ausschaltung von Störgrößen. Diese Qualitätsprobleme sind in den Gutachten ausführlich diskutiert worden.

Für die Bereiche „Genotoxische Effekte“, „Tierexperimente“ und „BHS“ wurde eine Qualitätsverbesserung festgestellt. Dagegen gilt für den Bereich der Befindlichkeitsstörungen, dass die meisten der vorliegenden Studien, sowohl von der Anlage wie von der Qualität der Durchführung her, keine belastbaren Aussagen erlauben. Dies ist natürlich auch durch die besondere Komplexität dieses Endpunktbereiches bedingt.

Problematisch ist vor allem, dass sich Befindlichkeitsstörungen nur über subjektive

²⁷ BfR (2001): http://www.bfr.bund.de/cm/228/risiko_glossar.pdf

²⁸ »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« (EPA, Policy for Risk Characterization, 2000).

Angaben messen lassen. Ob jemand z.B. Kopfschmerzen hat, kann objektiv kaum festgestellt werden. Oftmals ist es auch schwierig, Erwartungs- und Einstellungseffekte der untersuchten Personen, die das Ergebnis einer Studie beeinflussen können, zu vermeiden. Wie anfällig gerade die Ermittlung von subjektiven Symptomen für Befragungstechniken und -umstände ist, haben Frick et al. (2002) gezeigt. Je nach dem wie gefragt wurde, finden sich unterschiedliche Symptome. Außerdem ist es unbedingt notwendig, Störgrößen, die die Ergebnisse verfälschen können (wie beispielsweise Koffein, Nikotin, Stress oder die Schwankung des Blutzuckers nach Nahrungsaufnahme) zu kontrollieren.

Aber auch die anderen Endpunktbereiche sind beileibe nicht frei von Untersuchungsschwierigkeiten. Vor allem geht es um Expositionsabschätzungen, Fehlerkontrolle und Messprobleme.

6.3 Zusammenfassung der Gutachterbewertungen

Im Folgenden werden die Bewertungen der Gutachter in den sechs Endpunktbereichen noch einmal zusammengefasst. Es geht dabei, wie bereits schon ausgeführt, um die Beurteilung des Gefährdungspotenzials der EMF des Mobilfunks für die Gesundheit. Ausführlichere Begründungen zu den Beurteilungen finden sich in den Gutachten selbst, aber auch in unseren zusammenfassenden Darstellungen zu den einzelnen Endpunkten.

Themenfeld Genotoxische Effekte: Die bislang vorherrschende Einschätzung besagte, dass genotoxische Effekte durch hochfrequente elektromagnetische Felder (unterhalb der geltenden Grenzwerte) unwahrscheinlich seien. Dem steht nun die REFLEX-Studie gegenüber, die diese Einschätzung in Frage stellt. Nach Auffassung der Gutachter folgt aus der REFLEX-Studie allerdings nicht, dass expositionsbedingte Gesundheitsrisiken durch HF EMF aufgrund genotoxischer Effekte bestehen, da keine Zellschäden beobachtet wurden. Etwas vereinfacht: Die in der REFLEX-Studie beobachteten Effekte bilden offensichtlich keine hinreichende Bedingung für die Entstehung von Krebs.

Themenfeld Tierexperimentelle Forschung Krebs: Nach Einschätzung der Gutachter geben die vorliegenden Studien keinen Hinweis darauf, dass die hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks in Tierversuchen Krebserkrankungen hervorrufen oder fördern.

Themenfeld Epidemiologie Krebs: Die Gutachter werten die Befundlage z.T. unterschiedlich. Einerseits wird geurteilt, dass ein kanzerogener Effekt durch die Exposition mit EMF des Mobilfunks eher nicht zu erwarten ist. Andererseits wird ein „vager Anfangsverdacht“ für ein Krebsrisiko gesehen. Konsens zwischen den Gutachtern besteht darüber, dass Personen, die Kurzzeitexpositionen (d.h. wenige Jahre) gegenüber digitalen Mobiltelefonen aufweisen, keine erhöhten Hirntumorrisiken haben.

Themenfeld ZNS / kognitive Funktionen / Schlaf: Die Gutachter kommen auf der Basis der betrachteten Studien zu dem Schluss, dass hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks die meisten Schlafvariablen nicht beeinflussen; Effekte finden sich allein im Schlaf-EEG. Weiterhin halten sie einen Einfluss auf das Wach-EEG sowie auf den regionalen zerebralen Blutfluss für möglich. Etwas unterschiedliche Schlussfolgerungen ziehen die Gutachter für den Endpunkt „kognitive Funktio-

nen“. Während auch hier nach Einschätzung eines Gutachters die Befundlage einen Einfluss der Exposition mit HF EMF auf kognitiven Funktionen unwahrscheinlich erscheinen lässt, halten die beiden anderen Gutachter einen solchen Einfluss für möglich. Die Gutachter sind sich jedoch darin einig, dass die insgesamt gefundenen Effekte keine akute Gesundheitsgefährdung nahe legen.²⁹

Themenfeld Befindlichkeitsstörungen: Die Gutachter kommen für die Bewertung des Endpunkts „Kopfschmerz“ zu der Einschätzung, dass die wissenschaftlichen Studien Hinweise auf einen Zusammenhang von Handy-Nutzung und Kopfschmerz liefern.

Für die Endpunktgruppe Müdigkeit / Schlafstörungen, Schwindel / Übelkeit, Schmerzen (außer Kopfschmerz), depressive Verstimmung / Niedergeschlagenheit, Hautprobleme, Tinnitus / Ohrgeräusche, Nervosität sowie Konzentrationsschwierigkeiten / Gedächtnisstörungen und Wärmewirkungen ist die Befundlage aus Sicht der Gutachter so schwach, dass eine Bewertung kaum möglich ist. Allerdings deuten aus ihrer Sicht die wenigen vorhandenen Untersuchungsergebnisse nicht auf einen Zusammenhang mit HF EMF Exposition hin.³⁰

Den Endpunkt „Hypersensibilität“ bewerten die beiden Gutachtergruppen unterschiedlich. Während Seitz, Stinner & Eikmann aufgrund der Datenlage meinen, dass hier eine Bewertung nicht möglich ist, lautet die Einschätzung von Röösl, dass ein Zusammenhang mit RF EMF nicht ausgeschlossen werden kann. Diese Differenz spiegelt aber eher unterschiedliche Ansätze von Vorsicht bei der Bewertung wissenschaftlicher Befunde wider. Keinesfalls zeigt sie gravierende Unterschiede an.

Themenfeld Blut-Hirn-Schranke: Die seit dem Jahre 2000 veröffentlichten wissenschaftlichen Untersuchungen geben keinen Hinweis auf eine gesundheitlich relevante Störung der Blut-Hirn-Schranke nach Exposition mit elektromagnetischen Feldern im Frequenz- und Intensitätsbereich des Mobilfunks.

6.4 Bewertung des Gefährdungspotenzials durch MUT

Über alle Endpunktbereiche hinweg betrachtet ergibt sich somit folgendes Bild: Die Studien zur BHS und die tierexperimentellen Untersuchungen zu Krebs scheiden aus der weiteren Bewertung des Gefährdungspotenzials von HF EMF aus, da die vorliegenden Befunde gegen expositionsbedingte Effekte sprechen. Und: Wenn es keine Effekte gibt, dann ist auch kein Gefährdungspotenzial vorhanden.

Für die Endpunkte Müdigkeit / Schlafstörungen, Schwindel / Übelkeit, Schmerzen (außer Kopfschmerz), depressive Verstimmung / Niedergeschlagenheit, Hautprobleme, Tinnitus / Ohrgeräusche, Nervosität sowie Konzentrationsschwierigkeiten / Ge-

²⁹ Allerdings wird auch eingeräumt, dass „Veränderungen im normalen physiologischen Bereich“ nicht zwingend auf die Harmlosigkeit eines Effekts schließen lassen müssen. Mit Bestimmtheit kann man lediglich sagen, dass sie akut nicht gesundheitsgefährdend sind.

³⁰ Offen bleibt die Frage nach möglichen Effekten durch UMTS-Exposition. So zeigt die *Zwamborn*-Studie Effekte hinsichtlich Befindlichkeit nur bei UMTS-Exposition, nicht jedoch bei GSM-Signalen. Wie die positiven Befunde bei UMTS-Signalen einzuordnen sind, ist unklar (es gibt keine Hypothesen über Wirkmechanismen). Außerdem zeigen sich auch Effekte in Bezug auf Feindseligkeit. Wie das zu interpretieren ist, bleibt völlig offen.

dächtnisstörungen und Wärmewirkungen ist eine Bewertung aufgrund der schwachen Befundlage kaum möglich, die wenigen vorhandenen Untersuchungsergebnisse deuten aber nicht auf einen Zusammenhang mit HF EMF Exposition hin. Ebenfalls für eher unwahrscheinlich wird ein Einfluss von HF EMF auf Schlafvariablen (außer Schlaf-EEG) gehalten.

Damit verbleiben die folgenden Endpunkte in der Bewertung des Gefahrenpotenzials: (1) „Kognitive Funktionen“, (2) „Epidemiologie zu kanzerogenen Erkrankungen“, (3) „Kopfschmerz“, (4) „genotoxische Effekte“, (5) „expositionsbedingte Veränderung des Wach- und Schlaf-EEGs“ sowie (6) „regionaler zerebraler Blutfluss“.

Für die in der Bewertung verbleibenden Endpunkte soll im Folgenden geprüft werden, ob diese Effekte für die Beurteilung der Existenz eines Gefährdungspotenzials herangezogen werden können. Denn: Nicht jeder Effekt verweist auf einen möglichen Gesundheitsschaden.

Insbesondere die SSK hat betont, dass nicht jeder Effekt automatisch auf ein „Risiko“ hinweist. Sie macht außerdem deutlich, dass zwischen Einwirkung, Effekt, biologische Reaktion und gesundheitliche Beeinträchtigung unterschieden werden muss (SSK 2001). Erst wenn erkennbar ist, dass biologische Reaktionen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen – und dies ist nicht zwangsläufig – ist die biologische Reaktion risikorelevant. Nur in diesem Fall ist ein Gefährdungspotenzial gegeben, d.h. „ein Faktor von biologischer, chemischer oder physikalischer Natur mit der Eigenschaft, eine Gesundheitsschädigung hervorrufen zu können“ (BfR, 2001).

Natürlich ist es nicht immer einfach, klar abzugrenzen, wann ein schädlicher Effekt vorliegt und wann nicht. Hier spielen Gesundheits- wie Krankheitskonzepte, Nachweismethoden und gesellschaftliche Konventionen eine Rolle (vgl. Caplan et al. 2004, Englert 2004).

Für eine Reihe von Endpunkten ist die Unterscheidung zwischen Effekt und gesundheitlicher Beeinträchtigung trivial, weil die Endpunkte *per se* Gesundheitsschäden sind (z.B. Krebs). Aber für andere Endpunkte, wie z.B. die Blut-Hirn-Schranke, EEG-Veränderungen, Veränderungen kognitiver Funktionen und des regionalen zerebralen Blutflusses, trifft das nicht zu. Hier verweisen Effekte nicht automatisch auf eine Schädigung. Damit bleibt offen, ob überhaupt ein Gefährdungspotenzial angenommen werden kann³¹.

Nach Einschätzung der Gutachter sind die gefundenen Effekte bei den Endpunkten „Kognitive Funktionen“, „EEG“ und „regionaler zerebraler Blutfluss“ nicht als Gefährdungspotenzial zu werten. Vereinfacht ausgedrückt: Es finden sich zwar Effekte; sie sind aber an sich nicht gesundheitsschädlich. Deshalb gilt: Da es keine eindeutigen Hinweise darauf gibt, dass die Endpunkte „Veränderungen kognitiver Funktionen“, „EEG“ und „regionaler zerebraler Blutfluss“ als gesundheitliche Störungen bewertet werden können, scheiden sie aus der weiteren Betrachtung aus.

³¹ Allein die Nichtausschließbarkeit eines Schadens ist kein befriedigendes Argument für die Behauptung eines Gefährdungspotenzials. Denn natürlich kann nie definitiv ausgeschlossen werden, dass ein biologischer Effekt zu einem Schaden führen kann. Ohne eine wissenschaftlich plausible Begründung, warum ein biologischer Effekt zu einem Schaden führen könnte, ist eine solche Behauptung bestenfalls Spekulation.

Diese Einschätzung trifft auch für die gefundenen genotoxischen Effekte zu. Für die Bewertung des Gefährdungspotenzials sind diese Effekte nach Ansicht der Gutachter im Zusammenhang mit der Zellproliferation und dem programmierten Zelltod (Apoptose) zu betrachten.³² D.h. erst wenn Zellwachstum und Zellteilung beeinflusst werden, besteht ein Gefährdungspotenzial. Da bei der REFLEX-Studie ein solcher Einfluss nicht beobachtet wurde, sind die gefundenen genotoxischen Effekte zwar notwendige, aber noch keine hinreichenden Belege für die Existenz eines Gefährdungspotenzials.

Für die Bewertung des Gefährdungspotenzials der EMF des Mobilfunks bleiben damit nur die Endpunkte „Kopfschmerz“ und „Epidemiologie zu Krebs“ übrig.

In Bezug auf die epidemiologischen Befunde sprechen zwei Gutachter von einem vagen Anfangsverdacht. Diese Einschätzung wird von der anderen Gutachterin nicht geteilt, aus deren Sicht ein krebsfördernder Effekt eher nicht zu erwarten ist.

Für „Kopfschmerz“ werden Hinweise auf einen Zusammenhang mit dem Gebrauch von Mobiltelefonen gesehen. Dabei ist unsicher, ob der Zusammenhang zwischen Mobiltelefongebrauch und Kopfschmerz durch die Exposition mit EMF bewirkt wird.³³ Der Zusammenhang könnte auch durch das Telefonieren selbst, d.h. durch Telefonstress bedingt sein. In diesem Fall wäre die Exposition mit EMF aber vollkommen irrelevant für den Effekt „Kopfschmerz“.

6.5 Vergleich mit der SSK-Bewertung von 2001

Zur besseren Einordnung der Befundlage sei hier noch einmal auf den Vorschlag der SSK von 2001 zur Beurteilung von Zusammenhängen hingewiesen (siehe Kasten 1).

Wissenschaftlich nachgewiesen ist ein Zusammenhang zwischen einer Gesundheitsbeeinträchtigung und elektromagnetischen Feldern, wenn wissenschaftliche Studien voneinander unabhängiger Forschungsgruppen diesen Zusammenhang reproduzierbar zeigen und das wissenschaftliche Gesamtbild das Vorliegen eines kausalen Zusammenhangs stützt.

Ein **wissenschaftlich begründeter Verdacht** auf einen Zusammenhang zwischen einer Gesundheitsbeeinträchtigung und elektromagnetischen Feldern liegt vor, wenn die Ergebnisse bestätigter wissenschaftlicher Untersuchungen einen Zusammenhang zeigen, aber die Gesamtheit der wissenschaftlichen Untersuchungen das Vorliegen eines kausalen Zusammenhangs nicht ausreichend stützt. Das Ausmaß des wissenschaftlichen Verdachts richtet sich nach der Anzahl und der Konsistenz der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeiten.

Wissenschaftliche Hinweise liegen vor, wenn einzelne Untersuchungen, die auf einen Zusammenhang zwischen einer Gesundheitsbeeinträchtigung und elektromagnetischen Feldern hinweisen, nicht durch voneinander unabhängige Untersuchungen bestätigt sind und durch das wissenschaftliche Gesamtbild nicht gestützt werden.

Kasten 1: Terminologie der Strahlenschutzkommission (SSK 2001, S. 7)

³² Siehe auch EPA (2003, 2-25): „Both cell proliferation and programmed cell death are mandatory for the maintenance of homeostasis in normal tissues, and alterations in the level or rate of either are important elements of the carcinogenic process“.

³³ Selbst die Einordnung der Gutachter „Hinweise auf einen Zusammenhang“ blieb in den Workshopdiskussionen nicht ohne Widerspruch angesichts der Tatsache, dass von den vier belastbaren Studien gerade die beiden experimentellen (die Kausalschlüsse zulassen) negativ sind. Assoziationen liefern nur Querschnittsbefragungen. Dass diese stärker gewichtet werden als die experimentellen Studien, ist sicher nicht unumstritten.

Wenn man die Einschätzungen unserer Gutachter mit der zusammenfassenden Bewertung der wissenschaftlichen Studien von 1998 bis 2001 durch die SSK vergleicht, so zeigt sich, dass sich zwar einzelne Befundlagen zu den expositionsbedingten Effekten des Mobilfunks, aber nicht die Gesamtbewertung gegenüber 2001 verändert hat.³⁴

Die Veränderungen sind:

- Der Hinweis, den die SSK 2001 für tierexperimentelle Arbeiten zu Krebs sah (auf der Basis der Studie von Repacholi et al. 1997), wird durch die nachfolgenden Arbeiten bis 2004 nicht bestätigt.
- Der Hinweis, den die SSK im Gutachten von 2001 auf expositionsbedingte Veränderungen der Bluthirnschranke gesehen hat, findet keine Bestätigung. Dies trifft auch auf die Arbeit von Salford et al. (2003) zu.
- Die Hinweise auf Veränderungen von kognitiven Funktionen sind schwach und offenbar wenig belastbar. Gegenüber der Bewertung der expositionsbedingten Veränderung kognitiver Funktionen von 2001 ergibt sich somit keine neue Bewertungsgrundlage. Eine Beeinflussung von Schlafvariablen (außer Schlaf-EEG) halten unsere Gutachter für unwahrscheinlich. Hier sah die SSK „allenfalls unbestätigte Hinweise“. In Bezug auf Veränderungen des EEG beurteilte die SSK die 2001 vorliegende Evidenz noch als Hinweise. Unsere Gutachter halten eine expositionsbedingte Veränderung des EEGs und des regionalen zerebralen Blutflusses für möglich, allerdings sehen sie darin kein Anzeichen für eine Gesundheitsbeeinträchtigung.
- Mit Bezug auf genotoxische Effekte spricht die SSK im Jahr 2001 von einzelnen, nicht reproduzierten Hinweisen. Für die Bewertung der Evidenzlage 2004 ist vor allem die REFLEX-Studie wesentlich, in der sich genotoxische Effekte zeigen, allerdings finden sich keine Zellschäden. Deswegen folgt aus den bis 2004 vorliegenden Befunden keine veränderte Bewertung.
- Die SSK stellte 2001 bezüglich epidemiologischer Studien zu Krebs fest, dass es keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen dem Gebrauch von Mobiltelefonen und der Erkrankung an Hirntumoren gibt. In unserem Risikodialog sehen zwei der drei Gutachter einen „vagen Anfangsverdacht“ – was als Hinweis im Sinne der SSK zu werten ist; aus Sicht der dritten Gutachterin sind krebsfördernde Effekte eher nicht zu erwarten. Einig sind sich unsere Gutachter darin, dass bei Kurzzeitexpositionen von wenigen Jahren gegenüber den digitalen Mobilfunktelefonen kein erhöhtes Tumorrisiko zu erwarten ist.
- Elektrosensibilität wurde 2001 von der SSK für den Bereich des Mobilfunks nicht bewertet. In der Diskussion der Elektrosensibilität im Zusammenhang mit niederfrequenten Feldern stellte die SSK jedoch fest, dass die bisherigen Ergebnisse nicht ausreichen, um einen wissenschaftlich begründeten Verdacht darzustellen. Sie lassen es aber auch nicht zu, die Elektrosensibilitäts-Hypothese zu verwerfen. Unsere Gutachter kommen zu einer ähnlichen Schlussfolgerung: Sie finden keine

³⁴ In den nächsten Jahren steht jedoch eine ganze Reihe von Neubewertungen der gesundheitlichen Auswirkungen von HF EMF an. So will die EU noch in 2005 ihre Empfehlungen von 1999 überprüfen und gegebenenfalls modifizieren. Des Weiteren werden die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) der WHO, die Internationale Strahlenschutzkommission (ICNIRP) und die WHO die EMF des Mobilfunks bewerten.

Befunde, die die Elektrosensibilitäts-Hypothese bestätigen. Sie weisen aber darauf hin, dass diese Hypothese auch nicht ausgeschlossen werden kann.

- Die SSK hat 2001 Befindlichkeitsstörungen nicht bewertet. Auch heute ist die Befundlage für viele Endpunkte noch unzureichend. Die vorhandenen Untersuchungsergebnisse lassen nach Einschätzung unserer Gutachter für die Endpunkte „Müdigkeit/Schlafstörungen“, „Schwindel, Übelkeit“, „Schmerz (außer Kopfschmerz)“, „depressive Verstimmung“, „Niedergeschlagenheit“, „Hautprobleme“, „Tinnitus“, „Ohrengeräusche“, „Nervosität und Konzentrationsstörungen“ einen Zusammenhang mit HF EMF Expositionen eher unwahrscheinlich erscheinen. Nach Auffassung der Gutachter lassen sich aber Hinweise auf expositionsbedingte Kopfschmerzen feststellen.

Insgesamt erhärtet sich die Hypothese nicht, dass EMF des Mobilfunks gesundheitsschädliche Wirkungen haben.

Zu beachten ist, dass diese Aussagen sich auf gesunde Menschen beziehen. Ob und welchen Wirkungen bei Kranken vorliegen, kann nicht beurteilt werden. Die Frage einer besonderen Empfindlichkeit (Elektrosensibilität) von Personen gegenüber den EMF des Mobilfunks konnte nicht abschließend geklärt werden. Zwar finden sich in den Untersuchungen keine Befunde, die für eine solche besondere Empfindlichkeit sprechen, sie kann aber auch nicht sicher ausgeschlossen werden.

Schließlich können selbstverständlich keine Aussagen zu Endpunkten gemacht werden, die in den Gutachten nicht untersucht worden sind.

6.6 Schlussfolgerungen für künftige Risikodialoge

An dieser Stelle soll kein Forschungsprogramm für das Themenfeld „Mobilfunk und Gesundheit“ entwickelt werden; dazu hat sich ohnehin schon eine Reihe von Experten geäußert (siehe z.B. das Deutsche Mobilfunkforschungsprogramm)³⁵. Wir wollen uns vielmehr auf den Bereich der Risikokommunikation beschränken, der Schwerpunkt unserer eigenen Forschung ist, und unsere Erfahrungen mit dem Risikodialog zusammenfassen und Möglichkeiten zur seiner Verbesserung erörtern.

Im vorliegenden Dialog konnten wir bereits auf Einsichten aus einem früheren Risikodialog (Wiedemann, Schütz & Thalmann 2003) zurückgreifen. Die wesentlichsten Einsichten, die wir auch bei unserer Planung nutzten, waren:

- Für die Risikobewertung müssen Forschungsergebnisse aus zahlreichen, sehr spezifischen Themenfeldern begutachtet werden. Dazu benötigt man Wissen und Fähigkeiten, die man sich am besten durch eigene Forschung aneignen kann.
- Es ist Sorge zu tragen, dass bei einer Risikoabschätzung das Spektrum unterschiedlicher wissenschaftlicher Positionen vertreten ist.
- Ebenso notwendig ist das Mitwirken unabhängiger Beobachter, die selbst nicht in den wissenschaftlichen Streit um die gesundheitlichen Auswirkungen des Mobilfunks einbezogen sind, wohl aber als Experten für die jeweils angewandten Un-

³⁵ Siehe <http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung>

tersuchungsverfahren Anerkennung gefunden haben. Die Einbeziehung solcher beratender Spezialisten ist eine wichtige Bedingung für eine kompetente und vorurteilsfreie Risikobewertung.

- Um einen Vergleich der Risikobewertungen sowohl innerhalb wie auch zwischen den Themenfeldern zu erleichtern, sollten die Gutachten eine möglichst ähnliche Struktur haben. Es war uns deshalb wichtig, bereits im Vorfeld Untersuchungsziele und Untersuchungsrahmen festzulegen.
- Erst eine sorgfältige und nachvollziehbare Auswahl der wissenschaftlichen Literatur gewährleistet, dass die Gutachter von einer gleichen Datenbasis ausgehen können. Dabei sind die angelegten Maßstäbe für das Einbeziehen oder Verwerfen wissenschaftlicher Befunde in das Gutachten zu verdeutlichen.
- Für die Erstellung der Risikobewertung ist wesentlich, dass die Einschätzungen nachvollziehbar begründet sind. Es kommt deshalb darauf an, die Maßstäbe, nach denen widersprüchliche Befunde zu einem Gesamtbild zusammengefasst werden, darzulegen sowie Pro- und Contra-Argumente für die Einschätzung fair abzuwägen.

Während die ersten fünf Punkte in unserem Risikodialog ohne große Schwierigkeiten umgesetzt werden konnten, blieb der letzte Punkt kritisch.

Ausgehend von den positiven Erfahrungen im ersten Risikodialog haben wir die Struktur der Expertenargumentation wieder in Form von Pro- und Contra-Argumentation dargestellt und mit den Gutachtern abgestimmt; allerdings in verfeinerter Darstellung: Die wesentlichen Pro- und Contra-Argumente wurden um die sie jeweils stützenden bzw. schwächenden Zusatzargumente ergänzt.

Als neues Element kam die Darstellung der Schlussfolgerungen zusammen mit den verbleibenden Unsicherheiten hinzu. Hier wurde auch auf ggf. bestehende Bewertungsunterschiede zwischen den Gutachtern hingewiesen.

Um diese drei Kernelemente der Risikobewertung – die Evidenzbasis, die Pro- und Contra-Argumente sowie die Schlussfolgerung mit den verbleibenden Unsicherheiten – „auf einen Blick“ zugänglich zu machen, haben wir in unserem Risikodialog erstmals Evidenzschemata verwendet, die diese Elemente der Risikobewertung für einen spezifischen Endpunkt bzw. eine Endpunktgruppe graphisch darstellen. In den verschiedenen Workshopdiskussionen wurden diese Evidenzschemata von unseren Experten als nützliches Instrument eingeschätzt.

Ein Problem konnte jedoch noch nicht zufrieden stellend gelöst werden. Es handelt sich um die Charakterisierung der Unsicherheiten, welche die Beurteilung der Einzelstudien und insbesondere der zusammenfassenden Gesamtbewertung (Schlussfolgerungen) erschweren.

Betrachtet man die Gutachten, so fällt auf, dass diese mit einer Reihe von verschiedenen Redewendungen operieren, um unsichere und widersprüchliche Befundlagen zu beschreiben. Dazu gehören Floskeln wie „auf dieser Evidenzbasis ist keine Bewertung möglich“, „wahrscheinlich kein Zusammenhang“, „eher unwahrscheinlich“, „Zusammenhang ist nicht auszuschließen“, „wenig wahrscheinlich, aber möglich“

oder „vager Anfangsverdacht“. Es finden sich auch Beurteilungen wie „Wahrscheinlichkeit wird zwischen wenig wahrscheinlich und mittelgradig wahrscheinlich gewertet“ und „... , so dass bei einer Differenzierung ... auf eine etwas höhere, aber immer noch geringe Wahrscheinlichkeit ... geschlossen wird“.

Solche Kennzeichnungen – genannt *Hegding*-Floskeln – sind zwar unverzichtbar, wenn die Gefährdungspotenziale weder eindeutig nachgewiesen noch eindeutig ausgeschlossen werden können (Hyland, 1998).³⁶ Sie verweisen auf die Schwierigkeiten der Gutachter, sich angesichts vager und widersprüchlicher Befunde festzulegen. Da es aber praktisch keine Regeln gibt, wie solche Redewendungen einzusetzen sind, bleibt dies dem subjektiven Urteil jedes Einzelnen überlassen. Außerdem finden sich große Interpretationsspielräume bei der Deutung dieser Floskeln. Was z.B. „eher unwahrscheinlich“ im Gegensatz zu „Zusammenhang ist nicht auszuschließen“ bedeutet, kann ganz unterschiedlich ausgelegt werden. Diese Umstände führen bei den Adressaten – der Politik, den Journalisten und der Öffentlichkeit – nahezu zwangsläufig zu verschiedenen Bewertungen und Schlussfolgerungen. Deshalb wäre eine Skala nützlich, auf der die Stärke der Evidenz für bzw. gegen einen Zusammenhang zwischen Exposition und Wirkung angegeben werden könnte. Für eine solche Evidenzskalierung gibt es schon Beispiele, z.B. die Evidenzklassifizierungen der IARC³⁷ oder der SSK (2001).

Aber auch hier gibt es wieder mindestens zwei Probleme. Zum einen stellt sich die Frage, wie eine (möglichst über die verschiedenen Endpunkte hinweg) konsistente Zuordnung der Evidenzeinschätzung durch Experten erreicht werden kann. Die IARC beispielsweise nutzt eine Liste von Kriterien, die sich auf den Umfang und die Qualität von Evidenz aus *in vitro*-Experimenten, Tierstudien und epidemiologischen Studien zur Kanzerogenese bezieht. Trotz dieser auf den ersten Blick klaren Kriterien ist schon für diesen eingegrenzten Bereich eine einheitliche Zuordnung offenbar nicht leicht (vgl. Baines 2003). Tatsächlich haben wir im Rahmen dieses Risikodialogs verschiedene Formen der Evidenzskalierung mit den Experten ausprobiert, wobei sich genau das Problem einer konsistenten Zuordnung ergeben hat. Als ein anderes Problem hat sich gezeigt, dass Evidenzskalierungen nicht nur den Evidenzbereich umfassen müssen, der für das Vorhandensein eines Kausalzusammenhangs zwischen Exposition und Effekt spricht, sondern auch den Bereich, der dagegen spricht. So bietet die IARC-Klassifizierung hier nur eine einzelne, undifferenzierte „Contra-Kategorie“ und in der SSK-Klassifizierung wird dieser Bereich überhaupt nicht erfasst. Ob und wie Kriterien für eine konsistente Evidenzskalierung so unterschiedlicher Themenfelder wie etwa genotoxische Effekte und Befindlichkeitsstörungen entwickelt werden können, ist sicherlich ein lohnender Gegenstand zukünftiger Forschung.

Zum anderen ist fraglich, ob eine Evidenzskalierung von Adressanten der Risikobewertung – vor allem wenn diese keine Experten, sondern beispielsweise Regulatorien, politische Entscheidungsfinder oder Öffentlichkeit sind – auch so verstanden wird, wie sie gemeint ist. Befunde aus der Risikokommunikationsforschung deuten darauf hin, dass dies zumindest nicht einfach vorausgesetzt werden kann

³⁶ Solche Sprachmittel werden dann eingesetzt, wenn ein an einer konfliktfreien Kommunikation interessierter Sprecher/Schreiber sich möglichst nicht angreifbar machen will. Sie sind verbale Schutzschilder.

³⁷ <http://www-cie.iarc.fr/monoeval/eval.html>

(Thalmann 2005).

Abschließend soll auf eine Frage hingewiesen werden, die die Kommunikation von Risikobewertungen generell betrifft: Wie sollten Hinweise auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen – wenn es sie gibt – kommuniziert werden, um einerseits nicht übermäßig zu verschrecken, aber eben auch keine falschen Sicherheiten zu suggerieren? Ob sich unsere Evidenz-Schemata auch für die Risikokommunikation mit Nicht-Experten eignen, muss noch in geeigneter Weise überprüft werden.

Auch hier legen Ergebnisse der Risikokommunikationsforschung nahe, dass bestimmte Formen der Ergebnisdarstellung eher verängstigend wirken als andere (Purchase & Slovic 1999). Welche (persönlichkeitsspezifischen, situativen, inhaltlichen) Faktoren hier bedeutsam sind, muss ebenfalls in der weiteren Forschung geklärt werden.

7. Literatur

- Adey, W.R., Byus, C.V., Cain, C.D., Higgins, R.J., Jones, R.A., Kean, C.J., Kuster, N., MacMurray, A., Stagg, R.B. & Zimmerman, G. (2000): Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats exposed to frequency-modulated microwave fields. *Cancer Res*, 60, 1857-1863.
- Anane, R., Dulou, P.E., Taxile, M., Geffard, M., Crespeau, F.L. & Veyret, B. (2003): Effects of GSM-900 microwaves on DMBA-induced mammary gland tumors in female Sprague-Dawley rats. *Radiat Res*, 160(4), 492-497.
- Arai, N., Enomoto, H., Okabe, S., Yuasa, K., Kamimura, Y. & Ugawa, Y. (2003): Thirty minutes mobile phone use has no short-term adverse effects on central auditory pathways. *Clinical Neurophysiology*, 114(8), 1390-1394.
- Auvinen, A., Hietanen, M., Luukkonen, R. & Koskela, R.S. (2002): Brain tumors and salivary gland cancers among cellular telephone users. *Epidemiology*. May, 13(3), 356-359.
- Baines, C.J. (2003): Transparency at the International Agency for Research on Cancer (IARC). *Lancet*, 361 (9359), 781-782.
- Bartsch, H., Bartsch, C., Seebald, E., Deerberg, F., Dietz, K., Vollrath, L. & Mecke, D. (2002): Chronic exposure to a GSM-like signal (mobile phone) does not stimulate the development of DMBA-induced mammary tumors in rats: results of three consecutive studies. *Radiat Res*, 157(2), 183-190.
- Baumgardt-Elms, C., Ahrens, W., Broman, K., Boikat, U., Stang, A., Jahn, I., Stegmaier, C. & Jockel, K.H. (2002): Testicular cancer and electromagnetic fields (EMF) in the workplace: results of a population-based case-control study in Germany. *Cancer Causes Control*. Dec, 13(10), 895-902.
- Bergqvist, U. & Vogel, E. (1997): *Possible health implications of subjective symptoms and electromagnetic fields* (A Report prepared by a European Group of Experts for the European Commission, DG V.). Brussels: European Commission.
- BfR - Bundesinstitut für Risikobewertung (2001): Glossar von Termini der Risikoanalyse. [Online: http://www.bfr.bund.de/cm/228/risiko_glossar.pdf] [Geprüft: 01.03 2005].
- Bisht, K.S., Moros, E.G., Straube, W.L., Baty, J.D. & Roti Roti, J.L. (2002): The effect of 835.62 MHz FDMA or 847.74 MHz CDMA modulated radiofrequency radiation on the induction of micronuclei in C3H 10T(1/2) cells. *Radiat Res*, 157(5), 506-515.
- Bogen, K.T. (1990): *Uncertainty in environmental risk assessment*. New York: Garland Publishing.

- Bornhausen, M. & Scheingraber, H. (2000): Prenatal exposure to 900 MHz, cell-phone electromagnetic fields had no effect on operant-behavior performances of adult rats. *Bioelectromagnetics*, 21(8), 566-574.
- Bryant, P.A., Trinder, J. & Curtis, N. (2004): Sick and tired: Does sleep have a vital role in the immune system? *Nat Rev Immunol*, 4(6), 457-467.
- Bullinger, M. & Guski, R. (1997): Befindlichkeitsstörungen durch Umweltbelastungen - Gegenstand gesundheitswissenschaftlicher Forschung. *Zeitschrift für Gesundheitswissenschaften*, 3. Beiheft, 49-66.
- Caplan, A.L., McCartney, J.J. & Sisti, D.A. & Pellegrino, M. (2004): *Health, Disease, and Illness: Concepts in Medicine*. Washington, DC: Georgetown University Press.
- Chia, S.E., Chia, H.P. & Tan, J.T. (2000): Prevalence of headache among handheld cellular telephone users in Singapore: A community study. *Environmental Health Perspectives*, 108, 1059-1062.
- Christensen, H.C., Schuz, J., Kosteljanetz, M., Poulsen, H.S., Thomsen, J. & Johansen, C. (2004): Cellular telephone use and risk of acoustic neuroma. *Am J Epidemiol*. Feb 1, 159(3), 277-283.
- Croft, R.J., Chandler, J.S., Burgess, A.P., Barry, R.J., Williams, J.D. & Clarke, A.R. (2002): Acute mobile phone operation affects neural function in humans. *Clin Neurophysiol*, 113(10), 1623-1632.
- d'Ambrosio, G., Massa, R., Scarfi, M.R. & Zeni, O. (2002): Cytogenetic damage in human lymphocytes following GSM phase modulated microwave exposure. *Bioelectromagnetics*, 23(1), 7-13.
- David, E., Reißerweber, J., Wojtysiak, A. & Pfothner, M. (2002): Das Phänomen der Elektrosensibilität. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis*, 7(1), 7-16.
- De Roos, A.J., Teschke, K., Savitz, D.A., Poole, C., Grufferman, S., Pollock, B.H. & Olshan, A.F. (2001): Parental occupational exposures to electromagnetic fields and radiation and the incidence of neuroblastoma in offspring. *Epidemiology*. Sep, 12(5), 508-517.
- DFG (2004): *Tierversuche in der Forschung* (Senatskommission für tierexperimentelle Forschung; Deutsche Forschungsgemeinschaft ed.). Bonn: Lemmens Verlags & Mediengesellschaft.
- Dubreuil, D., Jay, T. & Edeline, J.M. (2002): Does head-only exposure to GSM-900 electromagnetic fields affect the performance of rats in spatial learning tasks? *Behav Brain Res*, 129(1-2), 203-210.
- Dubreuil, D., Jay, T. & Edeline, J.M. (2003): Head-only exposure to GSM 900-MHz electromagnetic fields does not alter rat's memory in spatial and non-spatial tasks. *Behavioural Brain Research*, 145(1-2), 51-61.

- EEG (2002): *Children's health and environment: A review of evidence*. (A joint report for the European Environment Agency and the WHO Regional Office for Europe). Luxemburg: European Environment Agency, Office for Publications of the European Communities.
- Englert, N. (2004): Adverse versus nicht-adverse Effekte. In: F.-X. Reichl & M. Schwenk (Eds.), *Regulatorische Toxikologie* (pp. 298-304). Berlin: Springer.
- EPA (2000): Risk characterization handbook. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency. (Online: <http://www.epa.gov/osp/spc/rchandbk.pdf>).
- EPA (2003): *Draft Final Guidelines for Carcinogen Risk Assessment* (external review draft, February 2003) (Other NCEA-F-0644A). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum.
- Finnie, J.W., Blumbergs, P.C., Manavis, J., Utteridge, T.D., Gebski, V., Swift, J.G., Vernon-Roberts, B. & Kuchel, T.R. (2001): Effect of global system for mobile communication (gsm)-like radiofrequency fields on vascular permeability in mouse brain. *Pathology*, 33, 338-340.
- Finnie, J.W., Blumbergs, P.C., Manavis, J., Utteridge, T.D., Gebski, V., Davies, R.A., Vernon-Roberts, B. & Kuchel, T.R. (2002): Effect of long-term mobile communication microwave exposure on vascular permeability in mouse brain. *Pathology*, 34, 344-347.
- Fischhoff, B., Lichtenstein, S., Slovic, P., Derby, S.L. & Keeney, R.L. (1981): *Acceptable risk*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Freude, G., Ullsperger, P., Eggert, S. & Ruppe, I. (2000): Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. *Eur J Appl Physiol*, 81(1-2): 18-27.
- Frick, U., Rehm, J. & Eichhammer, P. (2002): Risk perception, somatization, and self report of complaints related to electromagnetic fields - A randomized survey study. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 205(5), 353-360.
- Godward, S., Sandhu, M., Skinner, J. & McCann, J. (2001): Re: cellular telephones and cancer--a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst*, 93(11), 878, author reply 878-879.
- Haarala, C., Aalto, S., Hautzel, H., Julkunen, L., Rinne, J.O., Laine, M., Krause, B. & Hamalainen, H. (2003a): Effects of a 902 MHz mobile phone on cerebral blood flow in humans: A PET study. *Neuroreport*, 14(16), 2019-2023.
- Haarala, C., Bjornberg, L., Laine, M., Revonsuo, A., Koivisto, M. & Hamalainen, H. (2003b): Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: A replication study. *Bioelectromagnetics*, 24(4), 283-288.

- Hardell, L., Nasman, A., Pahlson, A., Hallquist, A. & Hansson Mild, K. (1999): Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: A case-control study. *Int J Oncol*, 15, 113-116.
- Hardell, L., Hansson Mild, K., Pahlson, A. & Hallquist, A. (2001): Ionizing radiation, cellular telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev*, 10(6), 523-529.
- Hardell, L., Hallquist, A., Hansson Mild, K., Carlberg, M., Pahlson, A. & Lilja, A. (2002a): Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev*, 11, 377-386.
- Hardell, L., Hansson Mild, K. & Carlberg, M. (2003): Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours. *Int J Oncol*, 22(2), 399-407.
- Hardell, L., Hansson Mild, K. & Carlberg, M. (2002b): Case-control study on the use of cellular and cordless phones and the risk for malignant brain tumours. *Int J Radiat Biol*, 78(10), 931-936.
- Harremoës, P., Gee, D., MacGarvin, M., Stirling, A., Keys, J., Wynne, B. & Vaz, S.G. (Eds.) (2002): *The Precautionary Principle in the 20th Century: Late Lessons from Early Warnings*. London: Earthscan Publications.
- Heikkinen, P., Kosma, V.M., Hongisto, T., Huuskonen, H., Hyysalo, P., Komulainen, H., Kumlin, T., Lahtinen, T., Lang, S., Puranen, L. & Juutilainen, J. (2001): Effects of mobile phone radiation on X-ray-induced tumorigenesis in mice. *Radiat Res*, 156(6), 775-785.
- Heikkinen, P., Kosma, V.M., Alhonen, L., Huuskonen, H., Komulainen, H., Kumlin, T., Laitinen, J.T., Lang, S., Puranen, L. & Juutilainen, J. (2003): Effects of mobile phone radiation on UV-induced skin tumourigenesis in ornithine decarboxylase transgenic and non-transgenic mice. *Int J Radiat Biol*, 79(4), 221-233.
- Hietanen, M., Kovala, T. & Hamalainen, A.M. (2000): Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, 26(2), 87-92.
- Hietanen, M., Hamalainen, A.M. & Husman, T. (2002): Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: no causal link. *Bioelectromagnetics*, 23(4), 264-270.
- Hillert, L., Flato, S., Georgellis, A., Arnetz, B.B. & Kolmodin-Hedman, B. (2001): Environmental illness: fatigue and cholinesterase activity in patients reporting hypersensitivity to electricity. *Environ Res*, 85(3), 200-206.
- Hook, G.J., Zhang, P., Lagroye, I., Li, L., Higashikubo, R., Moros, E.G., Straube, W.L., Pickard, W.F., Baty, J.D. & Roti Roti, J.L. (2004): Measurement of DNA damage and apoptosis in Molt-4 cells after in vitro exposure to radiofrequency radiation. *Radiat Res*, 161(2), 193-200.

- Hossmann, K.-A. & Hermann, D.M. (2003): Effects of electromagnetic radiation of mobile phones on the central nervous system. *Bioelectromagnetics*, 24(1), 49-62.
- Huber, R., Graf, T., Cote, K.A., Wittmann, L., Gallmann, E., Matter, D., Schuderer, J., Kuster, N., Borbely, A.A. & Achermann, P. (2000): Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport*, 11(15), 3321-3325.
- Huber, R., Treyer, V., Borbely, A.A., Schuderer, J., Gottselig, J.M., Landolt, H.-P., Werth, E., Berthold, T., Kuster, N., Buck, A. & Achermann, P. (2002): Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res*, 11(4), 289-295.
- Huber, R., Schuderer, J., Graf, T., Jutz, K., Borbely, A.A., Kuster, N. & Achermann, P. (2003): Radio frequency electromagnetic field exposure in humans: Estimation of SAR distribution in the brain, effects on sleep and heart rate. *Bioelectromagnetics*, 24(4), 262-276.
- Hutter, H.P., Moshhammer, H. & Kundi, M. (2002): Mobile phone base stations: effects on health and wellbeing. In *Biological Effects of EMFs*, Vol. 2 (Ed: Kostarakis P.) Workshop, Rhodes, pp. 344-352.
- Hyland, K. (1998): *Hedging in scientific research articles*. Amsterdam & Philadelphia: John Benjamins.
- IEGMP (2000): *Mobile Phones and Health*. Chilton, UK: Independent Expert Group on Mobile Phones. National Radiological Protection Board.
- 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(11), 1837-1841.
- Inskip, P.D., Tarone, R.E., Hatch, E.E., Wilcosky, T.C., Shapiro, W.R., Selker, R.G., Fine, H.A., Black, P.M., Loeffler, J.S. & Linet, M.S. (2001): Cellular-telephone use and brain tumors. *N Engl J Med*. Jan 11, 344(2), 79-86.
- Jauchem, J.R., Ryan, K.L., Frei, M.R., Dusch, S.J., Lehnert, H.M. & Kovatch, R.M. (2001): Repeated exposure of C3H/HeJ mice to ultra-wideband electromagnetic pulses: lack of effects on mammary tumors. *Radiat Res*, 155(2), 369-377.
- Jech, R., Sonka, K., Ruzicka, E., Nebuzelsky, A., Bohm, J., Juklickova, M. & Nevsimalova, S. (2001): Electromagnetic field of mobile phones affects visual event related potential in patients with narcolepsy. *Bioelectromagnetics*, 22(7), 519-528.
- Johansen, C., Boice, J.D., McLaughlin, J.K. & Olsen, J.H. (2001): Cellular telephones and cancer--a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst*. Feb 7, 93(3), 203-207.

- Koivisto, M., Revonsuo, A., Krause, C.M., Haarala, C., Sillanmaki, L., Laine, M. & Hamalainen, H. (2000a): Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport*, 11(2), 413-415.
- Koivisto, M., Krause, C.M., Revonsuo, A., Laine, M. & Hamalainen, H. (2000b): The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *Neuroreport*, 11(8), 1641-1643.
- Koivisto, M., Haarala, C., Krause, C.M., Revonsuo, A., Laine, M. & Hamalainen, H. (2001): GSM phone signal does not produce subjective symptoms. *Bioelectromagnetics*, 22, 212-215.
- Koyama, S., Nakahara, T., Wake, K., Taki, M., Isozumi, Y. & Miyakoshi, J. (2003): Effects of high frequency electromagnetic fields on micronucleus formation in CHO-K1 cells. *Mutat Res*, 541(1-2), 81-89.
- Krause, C.M., Sillanmaki, L., Koivisto, M., Haggqvist, A., Saarela, C., Revonsuo, A., Laine, M. & Hamalainen, H. (2000a): Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task. *Neuroreport*, 11(4), 761-764.
- Krause, C.M., Sillanmaki, L., Koivisto, M., Haggqvist, A., Saarela, C., Revonsuo, A., Laine, M. & Hamalainen, H. (2000b): Effects of electromagnetic fields emitted by cellular phones on the electroencephalogram during a visual working memory task. *Int J Radiat Biol*, 76(12), 1659-1667.
- Lagroye, I., Hook, G.J., Wettring, B.A., Baty, J.D., Moros, E.G., Straube, W.L. & Roti Roti, J.L. (2004): Measurements of alkali-labile DNA damage and protein-DNA crosslinks after 2450 MHz microwave and low-dose gamma irradiation in vitro. *Radiat Res*, 161(2), 201-214.
- LaRegina, M., Moros, E.G., Pickard, W.F., Straube, W.L., Baty, J. & Roti Roti, J.L. (2003): The effect of chronic exposure to 835.62 MHz FDMA or 847.74 MHz CDMA radiofrequency radiation on the incidence of spontaneous tumors in rats. *Radiat Res*, 160(2), 143-151.
- Lass, J., Tuulik, V., Ferenets, R., Riisalo, R. & Hinrikus, H. (2002): Effects of 7 Hz-modulated 450 MHz electromagnetic radiation on human performance in visual memory tasks. *International Journal of Radiation Biology*, 78(10), 937-944.
- Leitgeb, N. (1998). Electromagnetic Hypersensitivity. In: N. Leitgeb (Ed.), *International Workshop on Electromagnetic Fields and Non-Specific Health Symptoms, September 19-20, 1998, Graz, Austria*. Geneva: COST 244bis: Biomedical Effects of Electromagnetic Fields + WHO.
- Li, L., Bisht, K.S., Lagroye, I., Zhang, P., Straube, W.L., Moros, E.G. & Roti Roti, J.L. (2001): Measurement of DNA damage in mammalian cells exposed in vitro to radiofrequency fields at SARs of 3-5 W/kg. *Radiat Res*, 156(3), 328-332.
- Lönn, S. (2004): *Mobile phone use and risk of intracranial tumors*. Unpublished Doctoral Thesis, Institute of Environmental Medicine, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden.

- Lönn, S., Ahlbom, A., Hall, P. & Feychting, M. (2004): Mobile Phone Use and the Risk of Acoustic Neuroma. *Epidemiology*, 15(6), 653-659.
- Maes, A., Collier, M. & Verschaeve, L. (2000): Cytogenetic investigations on microwaves emitted by a 455.7 MHz car phone. *Folia Biologica (Praha)*, 46(5), 175-180.
- Maes, A., Collier, M. & Verschaeve, L. (2001): Cytogenetic effects of 900 MHz (GSM) microwaves on human lymphocytes. *Bioelectromagnetics*, 22(2), 91-96.
- Mashevich, M., Folkman, D., Kesar, A., Barbul, A., Kerenstein, R., Jerby, E. & Avivi, L. (2003): Exposure of human peripheral blood lymphocytes to electromagnetic fields associated with cellular phones leads to chromosomal instability. *Bioelectromagnetics*, 24(2), 82-90.
- McNamee, J.P., Bellier, P.V., Gajda, G.B., Lavalley, B.F., Lemay, E.P., Marro, L. & Thansandote, A. (2002a): DNA damage in human leukocytes after acute in vitro exposure to a 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency field. *Radiat Res*, 158(4), 534-537.
- McNamee, J.P., Bellier, P.V., Gajda, G.B., Miller, S.M., Lemay, E.P., Lavalley, B.F., Marro, L. & Thansandote, A. (2002b): DNA damage and micronucleus induction in human leukocytes after acute in vitro exposure to a 1.9 GHz continuous-wave radiofrequency field. *Radiat Res*, 158(4), 523-533.
- McNamee, J.P., Bellier, P.V., Gajda, G.B., Lavalley, B.F., Marro, L., Lemay, E. & Thansandote, A. (2003): No evidence for genotoxic effects from 24 h exposure of human leukocytes to 1.9 GHz radiofrequency fields. *Radiat Res*, 159(5), 693-697.
- Miyakoshi et al., principal investigator (2002a) 2.4 GHz (CW) and 1.5 GHz (PDC) exposure on micronucleus formation, sister chromatid exchange, chromosome aberrations, DNA damage, and genetic mutation as well cell cycle, signal transduction, transformation and cell division. BEMS 2002 Quebec, Canada (zit. in WHO EMF Studies Database).
- Miyakoshi, J., Yoshida, M., Tarusawa, Y., Nojima, T., Wake, K. & Taki, M. (2002b): Effects of high frequency electromagnetic fields on DNA strand breaks using COMET assay method. *Electrical Engineering in Japan*, 141(4), 9-15.
- Muscat, J.E., Malkin, M.G., Thompson, S., Shore, R.E., Stellman, S.D., McRee, D., Neugut, A.I. & Wynder, E.L. (2000): Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA*. Dec 20, 284(23), 3001-3007. Erratum in: *JAMA*, 2001 Mar 14, 286(10), 1293.
- Muscat, J.E., Malkin, M.G., Shore, R.G., Thompson, S., Neugut, A.J., Stellman, S.D. & Bruce, J. (2002): Handheld cellular telephones and the risk of acoustic neuroma. *Neurology*, 58, 1304-1306.
- Navarro, E.A., Segura, J., Portoles, M. & Gomez-Perretta de Mateo, C. (2003): The microwave syndrome: a preliminary study in Spain. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 22(2), 161-169.

- Oftedal, G., Wilen, J., Sandstrom, M. & Hansson Mild, K. (2000): Symptoms experienced in connection with mobile phone use. *Occup Med Lond*, 50(4), 237-245.
- Ozturan, O., Erdem, T., Miman, M.C., Kalcioglu, M.T. & Oncel, S. (2002): Effects of the electromagnetic field of mobile telephones on hearing. *Acta Otolaryngol*, 122, 289-293.
- Park, W.Y., Kim, N. principal investigators (2002): Cell phone exposure and analysis of transformation. Korean Meeting on EMF Bioeffects 2002 (zit. WHO EMF Studies Database).
- Purchase, I.F.H. & Slovic, P. (1999): Quantitative risk assessment breeds fear. *Human and Ecological Risk Assessment*, 5 (3), 445-453.
- Raczek, J., Runow, K., Oetzel, H., Gailus, T. & Herget, I. (2000): Investigations of electrosensitivity to a GSM signal at 900 MHz for a self-reported electrosensitive target group. BEMS-Tagung München, Abstract Book, pp. 269-270.
- Raffensberger, C. & Tickner, J. (Eds.) (1999): *Protecting Public Health and the Environment: Implicating the Precautionary Principle*. Washington, DC: Island Press.
- REFLEX (2004): http://www.itis.ethz.ch/downloads/REFLEX_Final%20Report_171104.pdf.
- Repacholi, M.H., Basten, A., Gebiski, V., Noonan, D., Finnie, J. & Harris, A.W. (1997): Lymphomas in Eμ-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res*, 147 (5), 631-640.
- Risikokommission (2003): *Abschlussbericht der Risikokommission*. Salzgitter: Geschäftsstelle der Risikokommission, Bundesamt für Strahlenschutz (Im Internet unter: <http://www.apug.de>).
- Rössli, M., Moser, M., Baldinini, Y., Meier, M. & Braun-Fahrlander, C. (2004): Symptoms of ill health ascribed to electromagnetic field exposure - a questionnaire survey. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 207, 141-150.
- Rudiger, H., Diem, E., Ivancsits, S. & Jahn, O. (2003): Non-thermal DNA breackage by mobile phone radiation in human fibroblasts. Meeting February 2003, institute of Physics, London (zit. WHO EMF Studies Database).
- Salford, L.G., Brun, A.E., Eberhardt, J.L., Malmgren & L., Persson, B.R. (2003): Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environ Health Perspect*, 111(7): 881-883.
- Sandstrom, M., Wilen, J., Oftedal, G. & Hansson Mild, K. (2001): Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Occupational Medicine-Oxford*, 51(1), 25-35.

- Santini, R., Santini, P., Seigne, M. & Danze, J.M. (2001a): Symptomes exprimés par des riverains de station relais de téléphonie mobile. *La Presse Medicale*, 30(32), 1594.
- Santini, R., Seigne, M., Bonhomme-Faivre, L., Bouffet, S., Defrasne, E. & Sage, M. (2001b): Symptoms experienced by users of digital cellular phones. *Pathologie Biologie*, 49(3), 222-226.
- Santini, R., Santini, P., Danze, J.M., Le Ruz, P. & Seigne, M. (2002): [Investigation on the health of people living near mobile telephone relay stations: I/Incidence according to distance and sex]. *Pathol Biol (Paris)*, 50(6), 369-373.
- Santini, R., Santini, P., Santini, P., Danze, J.M., Le Ruz, P. & Seigne, M. (2003a): Survey study of people living in the vicinity of cellular phone base stations. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 22(1), 41-49.
- Santini, R., Santini, P., Danze, J.M., Le Ruz, P. & Seigne, M. (2003b): [Symptoms experienced by people in vicinity of base stations: II/ Incidences of age, duration of exposure, location of subjects in relation to the antennas and other electromagnetic factors]. *Pathol Biol*, 51(7), 412-415.
- Schirmacher, A., Winters, S., Fischer, S., Goeke, J., Galla, H.J., Kullnick, U., Ringelstein, E.B. & Stögbauer, F. (2000): Electromagnetic fields (1.8 GHz) increase the permeability to sucrose of the blood-brain barrier in vitro. *Bioelectromagnetics*, 21(5), 338-345.
- Schütz, A. (1971): *Das Problem der sozialen Wirklichkeit. (Gesammelte Aufsätze Band 1)*. Den Haag: Martinus Nijhoff.
- Sienkiewicz, Z.J., Blackwell, R.P., Haylock, R.G.E., Saunders, R.D. & Cobb, B.L. (2000): Low-level exposure to pulsed 900 MHz microwave radiation does not cause deficits in the performance of a spatial learning task in mice. *Bioelectromagnetics*, 21(3), 151-158.
- SSK (2001): Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern - Empfehlungen der Strahlenschutzkommission. Bonn: Strahlenschutzkommission.
- Stang, A., Anastassiou, G., Ahrens, W., Broman, K., Bornfeld, N. & Jockel, K.H. (2001): The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. *Epidemiology*, 12(1), 7-12.
- Sterne, J.A.C., Smith, G.D. & Cox, D.R. (2001): Sifting the evidence - what's wrong with significance tests? Another comment on the role of statistical methods. *BMJ*, 322(7280), 226-231.
- Tahvanainen, K., Nino, J., Halonen, P., Kuusela, T., Laitinen, T., Lansimies, E., Hartikainen, J., Hietanen, M. & Lindholm, H. (2004): Cellular phone use does not acutely affect blood pressure or heart rate of humans. *Bioelectromagnetics*, 25(2), 73-83.

- Thalmann, A. (2005): *Risiko Elektromog. Wie ist das Wissen in der Grauzone zu kommunizieren?* Reihe Psychologie Forschung aktuell, Bd.19. Weinheim: Beltz.
- 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(2), 113-126.
- Tsurita, G., Nagawa, H., Ueno, S., Watanabe, S. & Taki, M. (2000): Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field. *Bioelectromagnetics*, 21(5), 364-371.
- Unknown (2001): 1.765 GHz (CDMA) exposure to cell culture and analysis of chromosome aberrations. WHO Meeting on EMF Biological Effects, Seoul, Korea 2001 (zit. WHO EMF Studies Database).
- Utteridge, T.D., Gebiski, V., Finnie, J.W., Vernon-Roberts, B. & Kuchel, T.R. (2002): Long-term exposure of E-mu-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. *Radiat Res*, 158, 357-364.
- Vijayalaxmi, Leal, B.Z., Szilagyi, M., Prihoda, T.J. & Meltz, M.L. (2000): Primary DNA damage in human blood lymphocytes exposed in vitro to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Radiat Res*, 153, 479-486.
- Vijayalaxmi, Bisht, K.S., Pickard, W.F., Meltz, M.L., Roti Roti, J.L. & Moros, E.G. (2001a): Chromosome damage and micronucleus formation in human blood lymphocytes exposed in vitro to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (847.74 MHz, CDMA). *Radiat Res*, 156(4), 430-432.
- Vijayalaxmi, Leal, B.Z., Meltz, M.L., Pickard, W.F., Bisht, K.S., Roti Roti, J.L., Straube, W.L. & Moros, E.G. (2001b): Cytogenetic studies in human blood lymphocytes exposed in vitro to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (835.62 MHz, FDMA). *Radiat Res*, 155(1 Pt 1), 113-121.
- Wagner, P., Roschke, J., Mann, K., Fell, J., Hiller, W., Frank, C. & Grozinger, M. (2000): Human sleep EEG under the influence of pulsed radio frequency electromagnetic fields. Results from polysomnographies using submaximal high power flux densities. *Neuropsychobiology*, 42(4), 207-212.
- Wang, B.M. & Lai, H. (2000): Acute exposure to pulsed 2450-MHz microwaves affects water-maze performance of rats. *Bioelectromagnetics*, 21(1), 52-56.
- Warren, H.G., Prevatt, A.A., Daly, K.A. & Antonelli, P.J. (2003): Cellular telephone use and risk of intratemporal facial nerve tumor. *Laryngoscope. Apr*, 113(4), 663-667.
- WHO (1948): Preamble to the Constitution of the World Health Organization as adopted by the International Health Conference, New York, 19-22 June, 1946; signed on 22 July 1946 by the representatives of 61 States (Official Records of the World Health Organization, no. 2, p. 100) and entered into force on 7 April 1948. Geneva: World Health Organization.

- WHO (2005): Precautionary Framework for Public Health Protection. (Online: <http://www.who.int/peh-emf/en/>).
- Wiedemann, P.M., Schütz, H. & Thalmann, A.T. (2003): *Mobilfunk und Gesundheit* (Reihe Umwelt/Environment 42). Jülich: Schriften des Forschungszentrums Jülich.
- Wilen, J., Sandstrom, M. & Hansson Mild, K. (2003): Subjective symptoms among mobile phone users--a consequence of absorption of radiofrequency fields? *Bioelectromagnetics*, 24(3), 152-159.
- Yamaguchi, H., Tsurita, G., Ueno, S., Watanabe, S., Wake, K., Taki, M. & Nagawa, H. (2003): 1439 MHz pulsed TDMA fields affect performance of rats in a T-maze task only when body temperature is elevated. *Bioelectromagnetics*, 24(4), 223-230.
- Zeni, O., Chiavoni, A.S., Sannino, A., Antolini, A., Forigo, D., Bersani, F. & Scarfi, M.R. (2003): Lack of genotoxic effects (micronucleus induction) in human lymphocytes exposed in vitro to 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res*, 160(2), 152-158.
- Zhang, M.B., He, J.L., Jin, L.F. & Lu, D.Q. (2002): Study of low-intensity 2450-MHz microwave exposure enhancing the genotoxic effects of mitomycin C using micronucleus test and comet assay in vitro. *Biomed Environ Sci*, 15(4), 283-290.
- Zook, B.C. & Simmens, S.J. (2001): The effects of 860 MHz radiofrequency radiation on the induction or promotion of brain tumors and other neoplasms in rats. *Radiat Res*, 155(4), 572-583.
- Zotti-Martelli, L., Peccatori, M., Scarpato, R. & Migliore, L. (2000): Induction of micronuclei in human lymphocytes exposed in vitro to microwave radiation. *Mutat Res*, 472(1-2), 51-58.
- Zwamborn, A., Vossen, S., van Leersum, B., Ouwens, M. & Makel, W. (2003): Effects of global communication system radio-frequency fields on well being and cognitive functions of human subjects with and without subjective complaints. FEL-03-C148. 2003. Niederlande, TNO Physics and Electronics Laboratory.

8. Glossar

(Quellen sind ggf. in eckigen Klammern hinter dem Eintrag abgeben)

Absorptionsrate: Die absorbierte Strahlungsleistung (\rightarrow SAR) wird im Labor gemessen oder durch Computersimulationen berechnet. [6]

Aderhautmelanom: ist ein zentral vom Äquator gelegener subretinaler kugeliger Tumor unterschiedlichen Pigmentgehalts. Es ist ein maligner Tumor mit Neigung zur Metastasierung. Die Diagnose im Frühstadium erfolgt meist zufällig. [8]

Adversität / adverser Effekt: bedeutet unerwünschte Wirkung auf die Gesundheit - Veränderung in Morphologie, Physiologie, Wachstum, Entwicklung oder Lebenserwartung eines Organismus, welche aus einer Beeinträchtigung seiner funktionalen oder kompensatorischen Leistungsfähigkeit in Bezug auf zusätzlichen Stress oder steigende Anfälligkeit für gesundheitsgefährdende Effekte durch andere Umwelteinflüsse resultiert. [3]

Agens: bedeutet wirkendes Mittel, wirksames Prinzip; auch Krankheitserreger, krankheitserregender Stoff / Wirkung.

Akustikusneurinom: ist ein vom Nervus vestibulocochlearis ausgehendes Neurinom als häufigster Kleinhirnbrückenwinkeltumor, bei Neurofibromatose auch beidseitig auftretend. Es geht einher mit Hör- und Gleichgewichtsstörungen sowie (als „Nachbarschaftssymptome“) Störungen des Trigeminus und Fazialis. Es entstehen Felsenbeinusuren; Eiweißvermehrung im Liquor, später Hirndruck. Nachgewiesen wird der Tumor mit Computer- oder Kernspinnresonanztomographie. [8]

Albumin ist ein Protein, das hauptsächlich im Blutplasma, in der Milch und in Eiern vorkommt. Im Blut nimmt es verschiedene Funktionen wahr, z.B. Regulation und Aufrechterhaltung des kolloidosmotischen Druckes im Gefäßsystem, Bindung und Transport verschiedener Plasmabestandteile und Pharmaka. Es wird in der Leber gebildet, was im Rahmen verschiedener Erkrankungen wichtig wird. Bei Leberzirrhose (z.B. aufgrund von chronischem Alkoholabusus) wird die Fähigkeit des Organs zur Synthese von Albumin eingeschränkt, was aufgrund des verminderten kolloidosmotischen Druckes des Blutplasmas zu Ödemen und Aszites führt. Ähnlich verhält es sich bei chronischer Unterernährung, wie sie vor allem in Dritte-Welt-Ländern vorkommt, da auch durch die mangelnde Protein- und Aminosäurezufuhr die Albuminbildung vermindert ist. [9]

Apoptose: ist der sogenannte programmierte Zelltod; eine Zellnekrose, die aktiv durch die Zelle selbst ausgelöst wird (durch Bildung eines DNS-zerschneidenden Enzyms, das die DNS des eigenen Zellkerns fragmentiert und zerstört). Die Apoptose spielt eine wichtige Rolle im Rahmen der Embryonalentwicklung und bei der Regulation der physiologischen Regeneration (z.B. Entsorgung alter Zellen, Rückbildung einer krankhaften Gewebeatrophie oder eines Tumors; Lymphozytenneubildung in den Keimzentren der Lymphknoten und anschließendes Absterben einer großen Zahl der neu gebildeten Lymphozyten). Eine gestörte (aufgehobene) Apoptose wird mit dem Malignomwachstum in Verbindung gebracht. Der Zelltod wird ausgelöst z.B. durch Killerzellen, Glucocorticoide, den Tumor-Nekrose-Faktor oder nach

Entzug von Wachstumsfaktoren; in der Krebstherapie konnte experimentell mit einem monoklonalen Antikörper (Anti-APO-1) die Apoptose bei Lymphom- und Leukämiezellen induziert werden. [8]

Artefakt: Kunstprodukt; führt zu verfälschten Ergebnissen bei einem Experiment. [6]

Assay: Als Assay bezeichnet man v.a. in der Labormedizin einen standardisierten Reaktionsablauf zum Nachweis einer Substanz mit einer spezifischen Methode. Aufgebaut ist ein Assay grundsätzlich aus einem mit einem spezifischen Antikörper beschichteten Träger (Reagenzglas, Titrierplatte o.ä.) und einem unspezifischen Antikörper, der mit einer gut nachweisbaren Substanz konjugiert ist. Der spezifische Antikörper reagiert dabei nur mit der gesuchten Substanz (Hormone, Proteine). Der unspezifische Antikörper reagiert mit dem Protein der gesuchten Substanz. Beide Antikörper werden nach gezielter Antigen-Gabe von Tieren produziert (Ziege, Schaf, Kaninchen, Pferd). [9]

Attribution: (Zuschreibung), in der Psychologie ein Prozeß, bei dem einer Emotion oder einem Verhalten entweder ein Motiv oder eine Ursache zugeschrieben wird. Die Zuschreibung kann auf die eigene Person oder auch auf die Umwelt geschehen. [4]

Auditorisch / akustisch evozierte Potenziale (AEP): zwischen Processus mastoideus und Vertex ableitbare Reizantwort des ZNS auf akustische Reizung eines oder beider Ohren, z.B. durch regelmäßige Klicklaute mit einer Lautstärke um 80 dB; nach Mittelwertbildung von ca. 2000 AEP stellt sich innerhalb der ersten 8 ms eine Folge von fünf kurzen positiven Wellen dar, die im Verlauf der Hörbahn entstehen und bei deren Beeinträchtigung bzw. Schädigung (z.B. durch Akustikusneurinom, Hirnstammläsion, Multiple Sklerose) eine erniedrigte Amplitude aufweisen oder verzögert sind. Bei primär supratentorieller, kraniokaudal fortschreitender Hirnschädigung (z.B. Einklemmung) kann es zu einem schrittweisen Ausfall der Wellen V bis III kommen (Überwachung komatöser Patienten); bei Hirntod treten nur noch die Wellen I und II bzw. keine Wellen mehr auf. AEP mit später Latenz von mehr als 50ms sind meist nach ca. 300 ms auftretende positive Wellen (P 300), die in Zus. mit der Lösung best. Aufgaben (z.B. Unterscheidung verschiedener Reize) abgeleitet werden. [7]

Bereitschaftspotential: vor Ausführung einer Bewegung elektroenzephalographisch ableitbares ansteigendes negatives Potential, das mit dem Entwurf eines Bewegungsprogramms im motorischen Kortex in Zusammenhang steht. [7]

Bias (engl. für Verzerrung): (statist.) Verfälschung: 1. von Meßergebnissen durch nichtzufällige (d.h. systematische) Meßfehler; 2. von Studienergebnissen durch nichtzufällige Stichprobengenerierung (Selektion, Selbstwahlstichprobe, geringe Beteiligung, hohe Ausfälle usw.); 3. von Sammelstatistiken bzw. Meta-Analysen von Studien durch Nichtpublizieren von einzelnen Studien (z.B. wegen eines nicht erwünschten Studienergebnisses). [7]

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 Funkseideanlagen (einschließlich des Bereiches der

Mobilfunkfrequenzen) festgeschrieben.

Blut-Hirn-Schranke: Die Blut-Hirn-Schranke (BHS) hat in unserem Gehirn eine wichtige Schutzfunktion für die Gehirnschubstanz, indem sie den Übertritt möglicherweise schädlicher Stoffe von den Blutkapillaren (kleinste Form von Adern) in die Gehirnflüssigkeit verhindert. Gleichzeitig regelt sie den geordneten Durchtritt aller vom Gehirn benötigten Nährstoffe wie Glukose, Aminosäuren und Sauerstoff. Die BHS befindet sich überall in der inneren Auskleidung der Blutkapillaren des Gehirns. Dort bilden flächige Zellen, die die Innenwände der Kapillaren darstellen, besonders feste, lückenlose Verbindungsstrukturen – sogenannte „tight junctions“ aus. Hierdurch wird der Transport und Austausch besonders von größeren Molekülen zwischen dem Blut und dem Gehirn verhindert oder zumindest stark eingeschränkt. [6]

Chromosomen: sichtbare Träger der genetischen Information, intensiv färbbare, faden- oder schleifenförmige Bestandteile des Zellkerns; auf den Chromosomen sind die Gene (Erbanlagen) linear angeordnet. Sie sind in der befruchteten Eizelle (Zygote) und in allen Körperzellen doppelt vorhanden (diploider Chromosomensatz), mit Ausnahme der Geschlechtschromosomen des heterogametischen Geschlechts (beim Menschen das männliche Geschlecht). In den Keimzellen ist nach den Reifungsteilungen nur ein einfacher (haploider) Chromosomensatz vorhanden. Die Chromosomen bestehen hauptsächlich aus Desoxyribonukleinsäure (→ DNA) und Histonen. Sie haben die Fähigkeit, sich identisch zu verdoppeln. [7]

Chromosomen-Mutation: vgl. DNA-Mutation.

Chromosomen-Aberrationen: Abweichungen von der normalen Chromosomenzahl (44 Autosomen und 2 Gonosomen) oder strukturelle Abweichungen einzelner Chromosomen (z.B. Chromosomenbrüche); wahrscheinlich häufig durch eine Störung der Meiose bedingt, können aber auch nach Störungen in den Furchungsteilungen der Zygote auftreten. [7]

Confounder: Als Confounder (oder Störvariablen) werden Faktoren bezeichnet, für die ein kausaler Zusammenhang mit dem betrachteten Endpunkt besteht, und für die auch ein Zusammenhang mit dem als „Ursache“ angenommenen Faktor besteht.

Crossover-Design: Untersuchungen nach dem Crossover-Design sind eine spezielle Form experimenteller Untersuchungen, bei denen die Versuchsteilnehmer hintereinander zwei oder mehreren Expositionsbedingungen ausgesetzt werden.

DECT: Digital Enhanced Cordless Telephone, drahtloses digitales Übertragungssystem; Kommunikationsstandard, der bei Schnurlostelefonen neuerer Bauart im Heimbereich eingesetzt wird, verwendet Funkfrequenzen um 1,9 GHz, wird in circa 90 Ländern eingesetzt. [6]

Deskriptive Statistik: Die deskriptive oder beschreibende Statistik ist der Zweig der Statistik, in dem alle Techniken zusammengefasst werden, die eine Menge von beobachteten Daten summarisch darstellen. Von der Inferenzstatistik unterscheidet sich die deskriptive Statistik dadurch, dass sie keine Aussagen zu einer über die untersuchten Fälle hinausgehenden Grundgesamtheit macht. [9]

DNA / DNS 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.

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.

Dosimetrie: Verfahren zur Messung und Berechnung einer Strahlendosis. [6]

EEG (Elektroenzephalographie bzw. Elektroenzephalogramm): Diagnostische Methode zur Registrierung von Potentialschwankungen des Gehirns (Summenpotentiale von Neuronenverbänden), die von auf der Kopfhaut angebrachten Elektroden erfaßt, verstärkt und kontinuierlich aufgezeichnet werden. Die Ableitung erfolgt in unipolarer (gegen eine indifferente Elektrode) oder bipolarer Schaltung (Messung der Potentialdifferenz zw. zwei Elektroden) oder als sog. Quellenableitung (gegen das "Summenpotential" der die differente Elektrode umgebenden Elektroden als Referenzpotential). Durch Hyperventilation, Photostimulation und Schlafentzug können pathol. EEG-Veränderungen provoziert werden. Neben nichtinvasiven Ableitungen können Potentiale invasiv durch auf der Gehirnoberfläche plazierte (Elektrokortikographie) oder stereotaktisch in das Gehirn implantierte (Stereoenzephalographie) Elektroden abgeleitet werden. Bei den regelmäßigen Potentialschwankungen (sog. Hirnstromwellen) werden in Abhängigkeit von der Frequenz Alphawellen (8-12Hz), Betawellen (13-30Hz), Thetawellen (4-7Hz) und Deltawellen (1-3Hz) unterschieden. Beurteilungskriterien: Frequenz, Amplitude, Steilheit und Lok. der Potentialschwankungen, vorherrschende Wellenform, Homogenität des Wellenverlaufs über sich entspr. Arealen der Großhirnhemisphären. [7]

Elektromagnetische Hypersensitivität (- Hypersensibilität)(EHS): Grundsätzlich wird unterschieden zwischen Elektrosensitivität und Elektrosensibilität. Elektrosensitivität ist die Eigenschaft, elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder bei sehr geringen Feldstärken wahrzunehmen, ohne zwingend gesundheitliche Beschwerden zu entwickeln. Bisherige Studien unterstützen die These, dass gewisse Personen schon sehr geringe EMF wahrnehmen können.

Elektrosensibilität bedeutet, aufgrund des Einflusses von elektromagnetischen Feldern gesundheitliche Beschwerden zu entwickeln. Die Elektrosensibilität wird jedoch als subjektives Phänomen betrachtet, da Personen ihre Symptome in der Regel auf-

grund eigener Beobachtungen auf EMF zurückführen. Der Nachweis eines tatsächlichen Zusammenhangs ist im Einzelfall kaum möglich. In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass elektrosensible Personen elektrische und magnetische Felder nicht wahrnehmen können. Trotzdem bleibt die Frage offen, ob es Personen gibt, die vielleicht unter bestimmten Voraussetzungen auf EMF empfindlicher reagieren. [1]

Elektromagnetische Felder (EMF): entstehen durch Schwingung elektrischer Ladung. Man unterscheidet zwischen niederfrequenten und hochfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern. Durch das besondere Verhältnis magnetischer und elektrischer Feldkomponenten zueinander, spricht man bei hohen Frequenzen von „elektromagnetischen“ Feldern. Zu den elektromagnetischen Feldern gehören auch das sichtbare Licht, Infrarot und Funkwellen. [6]

Endothel: (griech./lat. endothelium) ist eine einschichtige Zellohaut (einschichtiges Plattenepithel), die zur Auskleidung von Blutgefäßen, Lymphgefäßen und serösen Höhlen dient. Das Endothel ist das großflächigste Organ im menschlichen Körper, es umfasst die Fläche von 6 Tennisplätzen und wiegt 5 mal so viel wie das menschliche Herz. Das Endothel dient als Barriere zum Gewebe und produziert z.B. Stickstoffmonoxid, welches der Regulation des Tonus (Spannungszustand) der Gefäßmuskulatur im Herz-Kreislauf-System dient. Daneben beeinflusst es die Fließfähigkeit des Blutes, u.a. durch Hemmung und Aktivierung von Gerinnungsprozessen. [9]

Endpunkte: die in einer Untersuchung interessierenden Veränderungen oder Krankheiten.

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

Epilepsie: Oberbegriff für zerebrale Funktionsstörungen mit anfallsweise auftretenden Spontanentladungen zentraler Neurone. Gemeinsames Kennzeichen aller Epilepsieformen ist eine gesteigerte Krampfbereitschaft zentraler Nervenzellverbände, hervorgerufen durch ein Ungleichgewicht zwischen hemmenden und fördernden Neurotransmittern. Der Epilepsie kann u.a. eine Hirnschädigung zugrunde liegen (Trauma, Tumor, Entzündung, Stoffwechselstörung, Durchblutungsstörung, Fehlbildung). Diagnose erfolgt durch (Fremd-)Anamnese, → EEG (in ca. 30% spezifische Veränderungen wie Spitzen, steile Wellen oder Spitze-Welle-Komplexe, in weiteren 20% sind Veränderungen provozierbar), Computertomographie, Kernspintomographie (mit oder ohne Kontrastmittel), gegebenenfalls Angiographie. [8]

EU: Europäische Union.

Evozierte Potenziale: durch Reizung eines Sinnesorgans oder seiner afferenten Nerven auslösbare Potentialänderungen am Gehirn. In der Regel als Summenpotentiale von der Hirnoberfläche abgeleitet mit Technik wie beim → EEG; Hervorhebung aus der Hintergrundaktivität durch elektronische Mittelungsverfahren (averaging). [8]

Experiment: Ein Experiment (lateinisch: experimentum = Versuch, Beweis, Prüfung, Probe) ist ein wissenschaftlich aufgebauter Versuch zur zielgerichteten Untersuchung einer unter definierten Bedingungen reproduzierbar hervorgerufenen Erschei-

nung. Das Experiment ist neben der genauen Beobachtung die wichtigste wissenschaftliche Methode, um etwas über die Realität zu erfahren. Das Experiment unterscheidet sich von der reinen Beobachtung dadurch, dass zunächst eine genau definierte Situation präpariert wird. Anschließend wird das Verhalten des präparierten Systems beobachtet beziehungsweise gemessen. Es dient der Überprüfung einer Behauptung (These/Hypothese) und kann diese stützen oder widerlegen. [9]

Extravasat (lat. vas, vasis Gefäß) n: (engl.) extravasation; aus einem Gefäß in das umliegende Gewebe ausgetretene Blut-, Plasma- oder Lymphflüssigkeit. [7]

Fall-Kontroll-Studie: ist ein spezieller Typ einer epidemiologischen Studie, bei der retrospektiv eine Gruppe von Erkrankten/Betroffenen (die "Fälle") mit einer Gruppe von Nichtkranken (die "Kontrollen") bezüglich vermuteter relevanter Merkmale verglichen wird. [2]

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.

Feldwahrnehmung: → Elektromagnetische Hypersensibilität / -Hypersensitivität

Freie Radikale sind Teile von Molekülen. An der Bruchstelle befindet sich ein Atom mit einem so genannten ungepaarten Elektron (Englisch: odd electron).

Freie, also ungebundene Radikale versetzen biologisches Gewebe in oxidativen Stress und können es zerstören, indem sie als Initiator eine Kettenreaktion auslösen. Darin kann sich ein freies Radikal mit dem Teil eines bestehenden Moleküls zu einem neuen Molekül verbinden. Wird der neue Reaktionspartner ebenfalls als freies Radikal freigesetzt, so kann er eine analoge Reaktion verursachen. In solch einer Ketten-Reaktion verschwinden vom Körper gewünschte Moleküle und es entstehen unerwünschte oder gefährliche Moleküle. Bruchstellen in der DNA sind an sich schon gefährlich, weil Lesefehler der DNA Krebs verursachen können. [9]

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.

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

Genotoxisch: Potenzial einer physikalischen (z.B. UV-Strahlung) oder chemischen (z.B. Nikotin) Einwirkung, Erbgutschädigungen auszulösen. [6]

Gen-Transkription und **Gen-Translation:** Die Synthese von Genprodukte (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.

Glia: (Syn.: Neuroglia) das vom Ektoderm abstammende interstitielle Zellgewebe des Nervensystems (NS), das die Räume zwischen Nervenzellen und Blutgefäßen bis auf einen 20 nm breiten Spalt ausfüllt, die Markscheiden bildet und Stütz-, Nähr- und Phagozytosefunktionen ausübt. [8]

GSM: steht für "General System for Mobile communication". Das GSM-System war ursprünglich für den Frequenzbereich 890 - 915 MHz (Uplink) und 935 - 960 MHz (Downlink) spezifiziert. Später wurde die GSM-Spezifikation um weitere Frequenzbereiche ergänzt: 1800 MHz (GSM 1800 der E-Netze), 1900 MHz (GSM 1900 in den USA) sowie GSM-R (GSM-Rail). GSM nutzt TDMA als Zugriffsverfahren. Jeder Funkkanal wird dabei in Zeitschlitze je 0,577 ms unterteilt, die für 8 unabhängige Verbindungen genutzt werden können. Als Modulationsverfahren wird GMSK verwendet. [6]

Habituation: die Gewöhnung an Bedingungen, speziell die Gewöhnung an wiederkehrende sensorische Reize im Unterschied zu einer Akkomodation (z.B. Einstellung des Auges) oder Adaptation (langfristige, u.U. auch strukturelle und genetische Anpassung). Die Habituation ist kurzfristig und sie kann durch interferierende Reize und Prozesse unterbrochen werden (Dishabituation). [5]

Hirnödem: krankhafte Flüssigkeitsansammlung (Ödem) im Gehirn. Man unterscheidet 3 Hauptformen (vasogenes, cytotoxisches und interstitielles Hirnödem), die jeweils unterschiedliche Ursachen und Auswirkungen auf das Gehirngewebe haben. [4]

HL-60 Zellen: eine Zelllinie aus menschlichen Leukämiezellen.

Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF EMF): Der elektromagnetische Hochfrequenzbereich beginnt ab ca. 30 Kilohertz (Frequenz). Diese elektromagnetischen Felder (EMF) breiten sich in Wellen im Raum aus, ohne ein Transportmedium zu benötigen. Mikrowellen, Sendemasten von Radio und Fernsehen, Radar, Handys und Sendeanlagen für Mobilfunknetze senden hochfrequente elektromagnetische Felder aus. [6]

IARC: Internationale Krebsforschungsagentur der Weltgesundheitsorganisation.

ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (www.icnirp.de).

Induktionszeit: ist die Zeit, während der ein Reiz auf den Organismus einwirkt.

Insomnie (lat. insomnia) f: syn. Schlaflosigkeit, Asomnie; über längere Zeit (mind. 1 Monat) andauernde Schlafstörung mit ungenügender Schlafdauer, unzureichend erholsamem Schlaf und subjektivem Leidensdruck bzw. Beeinträchtigung der sozialen bzw. beruflichen Leistungsfähigkeit. [7]

intrakraniell: Innerhalb des Schädels.

In vitro: eigentlich „im (Reagenz-)Glas“, d.h. außerhalb des Organismus. Erforschung eines Effekts im Labor, im Gegensatz zu → in vivo.

In vivo: eigentlich „im Lebendigen“ (im lebenden Organismus). Erforschung eines Effekts im lebendigen Zusammenhang, außerhalb des Labors, im Gegensatz zu → in vitro.

Inzidenz: ist neben der → Prävalenz (Bestand) ein Hauptaspekt der Beschreibung und Analyse der Verbreitung von Krankheiten/Gesundheitsproblemen. Die Inzidenz beschreibt Mengen von Zugängen (Inzidenzfälle) in einen Bestand von Kranken/Betroffenen (Prävalenz). Damit ist sie wesentlich für die Betrachtung und Bewertung von Risiken (→ Risiko) in einer Bevölkerung. Zur Beschreibung der Inzidenz gibt es eine Reihe von epidemiologischen Maßzahlen, die → Inzidenzmaße. [2]

Inzidenzmaße: Als Inzidenzfälle werden die Ereignisse gezählt, dass Personen in einem bestimmten Zeitraum in einer Bevölkerung vom Zustand gesund (bzw. von einer bestimmten Krankheit/Störung/Gesundheitsproblem nicht betroffen) in den Zustand krank (bzw. betroffen) wechseln. Man spricht auch von Zugängen. Bei wiederholbaren Krankheiten wird auch jeder Wiedererkrankungsfall gezählt. [2]

Ionisierende Strahlung: UV-Strahlen, Röntgenstrahlen, Gammastrahlen und Kosmische Höhenstrahlung zählen zu den ionisierenden Strahlen. Sie umfassen den oberhalb des sichtbaren Lichtes angesiedelten Bereich der elektromagnetischen Wellen. Ionisierende Strahlen sind aufgrund ihrer hohen Elektronenenergie in der Lage Schäden in lebendem Gewebe und Veränderungen molekularer Strukturen hervorzurufen. Die Gesamtbelastung der Bevölkerung durch ionisierende Strahlung ist zu 85% natürlichen Ursprungs, 14% sind medizinischen Anwendungen und lediglich 1% sonstigen technischen Ursachen zuzurechnen. (siehe auch → nichtionisierende Strahlung). [6]

Ipsilateral: auf der gleichen Seite (des Kopfes) befindlich. Gegensatz zu → kontralateral.

Kanzerogenese / Karzinogenese: Entstehung maligner Tumoren unter Beteiligung verschiedener Faktoren (z.B. → Karzinogene, Hormone, onkogene Viren, Onkogene, genetisch bedingte Defekte der Reparatursysteme der DNA, erworbene oder angeb. Immundefekte), die nach der sog. Mehrstufenhypothese in drei Phasen verläuft: 1. Initiierung: Auslösung von Mutationen und einer irreversiblen molekularen Transformation; 2. Latenzperiode: in dieser ca. 15-20 Jahre dauernden Phase kommt es zur Proliferation der initiierten Zellen und Bildung von Tumorzellen mit Kernatypie und Kernpolymorphie (sog. Realisation der molekularen Veränderungen). Das Zusammenwirken versch. Karzinogene (Synkarzinogenese), die Einwirkung von Kokarzinogenen (Kokarzinogenese) oder unspezifischen Faktoren (Promotoren) kann die Kanzerogenese beschleunigen. 3. klinische Manifestation des Tumors, frühzeitig z.B. als Carcinoma in situ, u.U. auch als primär benignes Neoplasma, das maligne entarten kann. Im weiteren Verlauf erfolgt bei malignen Tumoren meist infiltrierendes Wachstum und Metastasierung. [7]

Karzinogene: Substanzen oder Faktoren, die beim Menschen oder im Tierversuch die Inzidenz maligner (auch spontan auftretender) Tumoren erhöhen, die Latenzzeit der → Karzinogenese verkürzen oder das Tumorspektrum in einem Gewebe verändern (erweitern) können; wirken direkt oder indirekt (nach Umwandlung in reaktionsfähige Metaboliten im Stoffwechsel oder Entstehung von Radikalen, z.B. Sauerstoff-

metaboliten) v.a. durch kovalente Bindung an ein DNA-Basenpaar mutagen und können lokal am Einwirkungsort bzw. nach Resorption systemisch und dabei z.T. in bestimmten, für die jeweilige Substanz charakteristischen Geweben (Organotropie) wirksam werden. [7]

Kognition: Sammelbezeichnung für die geistige Aktivität von Menschen. In der kognitionspsychologischen Forschung bezeichnet Kognition die Gesamtheit der informationsverarbeitenden Prozesse und Strukturen eines intelligenten Systems, unabhängig vom materiellen Substrat dieses Systems. Menschliche intelligente Systeme umfassen Prozesse und Strukturen für Wahrnehmung und Aufmerksamkeit, für Gedächtnis, Denken und Problemlösen, für Lernen sowie für Sprachverstehen und Sprachproduktion. [5]

Kohortenstudie: In einer Kohortenstudie wird untersucht, ob bei Personen, die einem möglichen Risikofaktor ausgesetzt waren (Risikogruppe), bestimmte Erkrankungen häufiger auftreten als bei Personen, die keinen Kontakt zu diesem Risikofaktor hatten (Kontrollgruppe). [6]

Konfidenzintervall (auch: Vertrauensintervall, Mutungsintervall): derjenige Bereich eines Merkmals, in dem sich ein Populationsparameter mit einer hohen Sicherheit (meist 95% oder 99%) befindet. Parameterschätzungen ermitteln einen Schätzwert für einen unbekanntem Populationsparameter der Grundgesamtheit auf der Basis von Stichprobenkennwerten. Nachdem eine Punktschätzung vom tatsächlichen Wert mehr oder weniger abweicht, ist es üblich, ein Intervall anzugeben, in dem sich der Populationsparameter befindet. Das Intervall wird um so kleiner, je größer die Stichprobe ist. [5]

Kontralateral: auf der entgegengesetzten Kopfseite gelegen. Gegensatz zu → ipsilateral).

Latenzzeit: ist der Zeitraum von der Einwirkung eines Schadstoffs (auf einen Organismus) bis zum Hervortreten einer Schädigung (im Organismus).

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

Leukozyten: „weiße Blutkörperchen“, unterschieden als Granulozyten, Lymphozyten und Monozyten. [8]

Lymphozyten: Zellen mit rundem, chromatinreichem Kern und schmalem, stark basophilem Zytoplasmasaum im peripheren Blut (hier nur ca. 1% aller Lymphozyten; 1–3,6 G/l entspr. 1000–3600/ μ l) und in den lymphatischen Geweben. Die Lympho(zyto)poese (Entwicklung der Lymphozyten) erfolgt in Milz, Lymphknotenrinde und lymphoepithelialen Organen, wobei die Vorläuferzellen aus dem Knochenmark stammen; von dort gelangen die Lymphozyten über den Ductus thoracicus in das Blut. Angeborene Störungen der Lymphopoese führen zu Immundefekten (der B- und/oder T-Zell-Reihe). [8]

Magnetisches Feld: Ein magnetisches Feld entsteht überall dort, wo elektrische Ladungen bewegt werden, d.h. wo ein elektrischer Strom fließt. Die Einheit der magne-

tischen 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.

Micronuclei / 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*.

Mutation: Veränderung des genet. Materials, die ohne erkennbare äußere Ursache (Spontanmutation) oder durch exogene Einflüsse (induzierte Mutation) entstehen kann; M. betreffen einerseits Körperzellen (somatische Mutation) und lassen ein somatisches Mosaik entstehen; sie sind nicht vererbbar und werden zur Erklärung z.B. der Tumorentstehung und des Alterungsprozesses herangezogen; andererseits können Keimzellen betroffen sein (generative Mutation), was zu einer erblichen Schädigung des Genträgers führt. Je nach Ausmaß der Veränderung werden numerische und strukturelle \rightarrow Chromosomenaberrationen, Punkt- und Blockmutationen unterschieden; neben dem Austausch einer Purinbase gegen eine andere Purinbase (Transition) oder Pyrimidinbase (Transversion) kann es sowohl zum Verlust (Deletion) als auch Einfügen (Insertion) einzelner Basen bzw. Basensequenzen oder Einbau von anderen Molekülen in die \rightarrow DNA (Rastermutation) kommen. Das Ergebnis einer Mutation ist die Synthese eines veränderten Genprodukts, das eine Veränderung des Phänotypus bewirkt; in Extremfällen bleiben sie entweder unbemerkt (stille Mutation) oder sind nicht lebensfähig (letale Mutation). [7]

Neuroblastom: zweithäufiger (häufigster extrakranieller) maligner, solider Tumor im Kindesalter. 1/3 der Erkrankungen erfolgen im 1. Lebensjahr, 90% in den ersten 6 Lebensjahren; beide Geschlechter sind gleich betroffen. Das Neuroblastom ist ein embryonaler Tumor, der vom Nebennierenmark oder von den Sympathikuszellen des Grenzstranges (N. sympathicum) ausgeht. Mehr als 50% aller Neuroblastome finden sich im Bauchraum, ca. 15% im Thoraxbereich. Eventuelle frühzeitige Metastasierung auch kleiner Tumoren in Knochen (einer der häufigsten Orbitatumoren im Kindesalter), Leber, Lymphknoten oder Knochenmark. In den ersten 15 Lebensmonaten spontane Rückbildung und Heilung (auch bei Metastasierung) möglich. Der Primärtumor ist oft symptomlos bzw. äußert sich unspezifisch; das Neuroblastom ist häufig ein Zufallsbefund. In Harn und Serum ist die Ausscheidung der Katecholamin-Abbauprodukte (Homovanillinsäure [HMA], Vanillinmandelsäure [VMA], Dopamin) erhöht. Neuronenspezifische Enolase (NSE) erhöht; LDL oder Ferritin ggf. erhöht; ferner Jod-131-Metabenzylguanidin(MIBG)-Szintigraphie. Eine Risikobeurteilung ist durch molekulargenetische Tests wie LOH 1p, Nmyc, Ploidie möglich. [8]

Neurodegenerative Krankheiten: Krankheiten, die durch langsamen, unaufhaltsamen Tod von Nervenzellen gekennzeichnet sind. Ausgeprägte Gewebe- oder Entzündungsreaktionen sind meist nicht festzustellen. Zu den neurodegenerativen

Krankheiten des Menschen zählen die amyotrophe Lateralsklerose, Tauopathien, wie z.B. die familiäre frontotemporale Demenz und Parkinsonismus oder auch die Alzheimer-Krankheit, Trinucleotidkrankheiten, wie z.B. Chorea Huntington, Prion-Krankheiten, wie z.B. die Creutzfeldt-Jakob-Krankheit und α -Synucleinopathien (Synuclein), wie z.B. die Parkinson-Krankheit. Neurodegeneration. [4]

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.

Nicht-ionisierende Strahlung: Funkwellen zählen zu den so genannten nicht-ionisierenden Strahlen. Im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung, etwa der radioaktiven Strahlung, kann die nicht-ionisierende Strahlung aufgrund ihres geringen Energiegehaltes keine Molekularbindungen zerstören. Die Absorption nicht-ionisierender Felder wird mit Hilfe des SAR-Wertes bestimmt. [6]

Noxe: bezeichnet einen Stoff oder Umstand, der eine schädigende, pathogene (d.h. krankheitserregende) Wirkung auf einen Organismus oder auf ein Körperorgan ausübt. [9]

Odds Ratio (Abk.: OR): → Risikomaße

OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development (www.oecd.org).

Operantes Lernen (auch: instrumentelles Lernen, operante Konditionierung, Lernen am Erfolg): Lernen aktiver Verhaltensweisen, die dem Organismus im Gegensatz zu den unbedingten Reflexen nicht vorgegeben sind, durch schrittweise Verstärkung (instrumentelles Lernen, Lernen). [5]

Pathologisch: krankhaft.

Pathophysiologie: Lehre von den krankhaft gestörten Lebensvorgängen und deren Entstehung.

Permeabilität: Eigenschaft eines porösen Gebildes, insbesondere einer Membran (z.B. Zell-, Basalmembran, Endothel), Stoffe durchtreten zu lassen, wobei Durchlässigkeit und Wanderungsgeschwindigkeit von Poren- und Teilchengröße abhängig sind. Veränderungen in der Permeabilität der → Blut-Hirn-Schranke können gesundheitsbeeinträchtigend sein, beispielsweise führen sie zu → Hirnödemen. [8]

Power Analyse: Verfahren zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit, mit der bei einer gegebenen Stichprobengröße (d.h. Anzahl von Untersuchungsfällen) ein Effekt entdeckt werden kann. Dieses Verfahren kann auch zur Berechnung der Anzahl von Untersuchungsfällen verwendet werden, die für die Entdeckung eines Effekts mit einer gegebenen Wahrscheinlichkeit notwendig sind.

Prävalenz: Anzahl der Erkrankungsfälle einer best. Erkrankung bzw. Häufigkeit eines best. Merkmals zu einem best. Zeitpunkt (Punktprävalenz) oder innerhalb einer bestehenden Zeitperiode (Periodenprävalenz); epidemiologisches Maß zur Charakterisierung des Krankheitsgeschehens in einer best. Population. [7]

Provokationsstudie: Untersuchung, bei der durch gezielte Reize oder Tests versucht wird, einen bestimmten Effekt hervorzurufen.

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

Psychosomatik: i.e.S. Lehre von den wechselseitigen Beziehungen zwischen Körper (Soma) und Seele (Psyche) in Ätiologie, Pathogenese, Verlauf und Behandlung von Krankheiten. Das biopsychosoziale Modell geht davon aus, dass bei allen Erkrankungen auch psychosoziale Faktoren mitwirken; als psychosomatische Krankheiten i.e.S. gelten u.a.: Essstörungen (Anorexia nervosa, Bulimia nervosa), Asthma bronchiale, Duodenalulkus, chronisch-entzündliche Darmerkrankungen, atopisches Ekzem, Fibromyalgie, koronare Herzerkrankung. [8]

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

Querschnittsstudie: Bei einer Querschnittsstudie werden Exposition und Endpunkt zum gleichen Zeitpunkt erhoben.

Räumliches Lernen: Lernen räumlicher Beziehungen; essentiell für die Raumorientierung. Erkennung und Gedächtnis lokaler und/oder globaler Geländemarken sind dafür maßgeblich. Der Hippocampus ist wesentlich am räumlichen Lernen beteiligt und birgt sogar, zumindest bei Ratten, eine Art "kognitiver Karte". Im Schlaf wird das Engramm für räumliche Kenntnisse gefestigt, die in der vorhergehenden Wachperiode erworben wurden. Am räumlichen Gedächtnis sind neben dem Hippocampus auch die Basalganglien sowie der Sulcus principalis im Frontallappen beteiligt. Gedächtnistests, Morris-Wasserlabyrinth. [4]

rCBF (regional Cerebral Blood Flow): die regionale Hirndurchblutung. Die Hirndurchblutung bezeichnet die von den Hirngefäßen garantierte Durchblutung des Gehirns. Sie ist eng gekoppelt an die Hirnfunktion und den Hirnstoffwechsel. [8]

Recall-Bias: selektiv verzerrte Erinnerung.

REM-Schlaf [Abk. für engl. *rapid eye movement* = rasche Augenbewegung]: durch rasche Augenbewegungen, muskuläre Atonie und ein aktiviertes → Elektroencephalogramm (EEG) gekennzeichnete Schlafphase, die sich zyklisch mit dem NREM-Schlaf abwechselt; die Weckschwelle ist vergleichsweise hoch. Besonderheit dieses Schlafstadiums ist die Instabilität vegetativer Funktionen, wie Herzfrequenz, Atmung und Blutdruck. Im REM-Schlaf wird die intensivste psychische Aktivität nachgewiesen, die sich in visuell und motorisch geprägten Erlebnisprozessen darstellt, z.T. in bizarrer Ausformung, wobei Einsicht, Urteilskraft und Kontrolle typischerweise dabei fehlen (Träume). Man vermutet eine entscheidende Rolle des REM-Schlafs bei der Konsolidierung von erlernten Informationen. Eine postulierte Funktion des REM-Schlafs ist die phasische Aktivierung des Gehirns, um ein zu tiefes Absinken des Neuronenstoffwechsels zu vermeiden. Durch REM-Schlafentzug in der Entwicklungsphase von Tieren wird die neuronale Ausreifung verzögert. Mit zunehmender Lebensdauer nimmt der absolute und relative Anteil des REM-Schlafs am Gesamtschlaf ab. [4]

Relatives Risiko (Abk.: RR): → Risikomaße

Replikation / replizieren: Wiederholung einer Untersuchung durch ein anderes Forschungsteam unter gleichen Untersuchungsbedingungen (Exposition, Anzahl untersuchter Objekte, Methode, etc.).

Risiko: ist eine Funktion der Wahrscheinlichkeit einer schädlichen Gesundheitswirkung und der Schwere dieser Wirkung als Folge der Exposition mit einer → Risikoquelle.

Risikomaße: Risikomaße gehen von den → Inzidenzmaßen aus. Das eigentliche Anliegen ist dann der Vergleich von → Inzidenz für durch Risikomerkmale differenzierte bzw. verschieden exponierte Teilbevölkerungen und die Quantifizierung von deren Inzidenzunterschieden.

Quantifiziert werden kann Risiko einerseits in Form der Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis in einem definierten Zeitraum eintreten wird, insbesondere, dass ein Individuum erkranken/betroffen sein/sterben wird (das entspricht der kumulativen Inzidenz).

Das relative Risiko (*relative risk*) kann als Quotient der kumulativen Inzidenzrate der Exponierten geteilt durch die kumulative Inzidenzrate der Nichtexponierten errechnet werden.

Das attributierbare Risiko (*attributable risk*) soll den spezifischen Beitrag einer Exposition zur Gesamtinzidenz bemessen. Damit wären u.U. auch Präventionseffekte (im Falle des Ausschlusses des Risikos) zu quantifizieren. Es kann z.B. als Differenz der Anzahl der Inzidenzfälle pro 100 000 der exponierten bzw. nicht exponierten Bezugsbevölkerung angegeben werden.

Odds (deutsch: Chance, Wettverhältnis) sind Maße, die von absoluten Häufigkeiten ausgehen und oft unkomplizierte Schätzungen erlauben. Der *Odd* für Exponierte ergibt sich als Proportion (Quotient) der Anzahl der Inzidenzfälle zu der Anzahl des Restes (der nicht Erkrankten). Der *Odd* für Erkrankte ergibt sich als Proportion (Quotient) der Inzidenzfallzahlen für Exponierte und Nichtexponierte. Die daraus abgeleiteten *Odds ratios* (*Odd* für Exponierte geteilt durch *Odd* für Nichtexponierte oder *Odd* für Erkrankte geteilt durch *Odd* für Nichterkrankte) sind Effektmaße, die insbesondere dann zur Anwendung kommen, wenn andere Risikomaße nicht (mehr) ermittelt werden können. [2]

Risikoquelle: Stoff, Substanz, Produkt, Technologie, Situation oder Verhaltensweise, aus dem bzw. der ein Risiko resultieren kann.

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.

Scheinexposition: bedeutet, dass bei sonst gleichen Versuchsbedingungen, nur die Exposition selbst nicht stattfindet.

Schlaf: physiologischer, phasenhafter Erholungsvorgang der Stoffwechselfvorgänge im Gehirn, der auf dem endogenen Tag-Nacht-Rhythmus des Zentralnervensystems beruht und durch das Schlafzentrum kontrolliert wird. Gekennzeichnet durch Bewusstseinsänderung (Bewusstseinsminderung mit Erhaltenbleiben einer gewissen Wahrnehmungsbereitschaft gegenüber der Umwelt und jederzeitiger Erweckbarkeit

durch geeignete Reize) und vegetative Umstellung im Sinne der trophotropen-vagotonen Reaktionslage (Bradykardie, Kreislauf- und Muskelhypotonie, verminderte Ansprechbarkeit des Atemzentrums), ferner durch die Induzierbarkeit mit Hilfe bedingter Reflexe (z.B. Einnahme der Schlafhaltung am geeigneten Ort). Einteilung: Nach elektrophysiologischen Kriterien werden verschiedene Stadien unterschieden. W- (= Wachheit) oder A-Stadium: im EEG Alphaaktivität von 8–12/Sek. und unterlagerte niedrigere, langsamere Wellen verschiedener Frequenzbereiche). Dann folgend Stadium 1 (= Einschlaf-, Schläfrigkeits-, B-Stadium): im EEG relativ niedrige, langsame Tätigkeit verschiedener Frequenzbereiche; ferner langsame Augenbewegungen; Stadium 2 (= leichter Schlaf = C-Stadium): mit zusätzlichen Schlaf- = Sigmaspindeln, d.h. 12–14/Sek.-Wellen und K-Komplexen; Stadium 3 (= mittlerer Schlaf = D-Stadium): mit mäßigen Anteilen hoher, langsamer Aktivität; Stadium 4 (= tiefer Schlaf = E-Stadium): mit großen Anteilen hoher, langsamer Aktivität; Stadium 5 (REM-Schlaf = Traumstadium): EEG wie bei 1 und mit episodischen raschen Augenbewegungen („rapid eye movements“) sowie mit niedriger elektromyographischer Aktivität, die auch als paradox, dissoziiert oder desynchronisiert bezeichnet werden und in denen eine wesentlich verminderte Weckbarkeit und Muskeltonisierung bestehen. Der REM-Schlaf ist z.T. das physiologische Korrelat der Träume. Diese Stadien bilden Zyklen von ca. 90 Min. Dauer mit 4- bis 5-maliger Wiederholung im normalen Nachtschlaf; sie machen beim Neugeborenen ca. 60% der Schlafzeit aus (gegenüber 20% beim Erwachsenen); dem REM-Schlaf werden die Stadien 2–4 als „orthodoxer“ = „Slow-Wave-“ = „Non-REM-“ = NREM-Schlaf gegenübergestellt (3 und 4 mit erhöhter Wahrnehmungsbereitschaft für äußere Reize). Der Schlafbedarf nimmt im Laufe des Lebens ab, beim Säugling gibt es etwa 12 kurzfristige Schübe ohne regelmäßigen Tag-Nacht-Rhythmus, der Erwachsene ist entweder Kurzschläfer, mit 5–6 Std. Schlaf und größter Schlaftiefe nach dem Einschlafen, oder Langschläfer, mit 8–9 Std. und größerer Schlaftiefe gegen Morgen. [8]

Schlafarchitektur: Anteil der einzelnen Schlafphasen am gesamten Schlaf. Eine normale Schlafarchitektur, d.h. eine ungestörte Abfolge der unterschiedlichen Schlafphasen ist notwendig, um die körperliche und geistige Regeneration durch den Schlaf zu ermöglichen. Wenn etwa Tief- oder Traumschlafphasen fehlen, kann auch ein langer Schlaf weitgehend ohne spürbare Erholung sein.

Schlaf-EEG: siehe EEG.

Schlafphasen: siehe Schlaf.

Schlafqualität: kann sich entweder auf die subjektive Einschätzung der Qualität des Schlafs beziehen (die mittels Befragung erhoben wird) oder auf die Messung physiologischer Parameter (mittels Schlaf-EEG).

Selektionsbias: Verfälschungen im Ergebnis einer Untersuchung, die sich aus Auswahl der Untersuchungsteilnehmer ergeben; z.B. nicht-zufällige Zuteilung von Personen in die Experimental- bzw. Kontrollgruppe.

Somatisierung: Grundmodell der → Psychosomatik mit unterschiedlichen Erklärungsansätzen, wie sich das psychische Geschehen in körperlichen Vorgängen niederschlägt. [5]

Teratogenese: Die Entstehungsvorgang für Fehlbildungen. [7]

Teratogenität: Fähigkeit eines Agens, eine strukturelle (aber auch funktionelle) Abnormität auszulösen. [7]

Thermischer Effekt: Durch die Wärmewirkung hervorgerufener Effekt.

Tinnitus: störende, ton- oder geräuschartige endogene Schallempfindung, entweder als Wahrnehmung ohrnaher Muskel- und Gelenkgeräusche, von Sekretknistern, Vibrationen etc. oder aber als rein subjektive Empfindung (Brummen, Rauschen, Klingeln, Pfeifen) infolge inadäquater Rezeptorenreizung. Tinnitus kommt v.a. bei gestörter Schalleitung (Zerumen, Otitis, Otosklerose, evtl. pulsierend) bzw. bei Erkrankungen von Innenohr, Hörnerv oder -zentren (meist hochfrequent), arterieller Hyper- und Hypotonie vor. Die Pathophysiologie des Tinnitus ist weitgehend ungeklärt; wahrscheinliche Ursachen sind Defekte im Haarzellbereich, Störung der neuronalen Spontanaktivität der Hörnervenfaser sowie krankhafte Veränderungen der biochemischen Vorgänge in den Haarzellen oder Unterbrechung des Kontakts der Haarzellen zur Tektorialmembran. [8]

UMTS: Universal Mobile Telecommunication System; Mobilfunksystem der sogenannten "dritten Generation", das aufgrund hoher Übertragungsraten neben Sprachkommunikation auch Multimedia-Anwendungen (Bild- und Videoübertragung) erlaubt. UMTS soll ab etwa 2003 Frequenzen zwischen 1920 und 1980 MHz, sowie zwischen 2110 und 2170 MHz nutzen. [6]

Vigilanz (auch: statische Aufmerksamkeit, Wachsamkeit, Daueraufmerksamkeit): Fähigkeit zur genauen Wahrnehmung und Reaktionsbereitschaft auf bestimmte Reize über einen längeren Zeitraum hinweg (Aufmerksamkeit, Konzentration). [5]

Wach-EEG: siehe EEG

Wahrnehmung elektromagnetischer Felder: → Elektromagnetische Hypersensibilität / -Hypersensitivität

WHO: World Health Organization – Weltgesundheitsorganisation (www.who.int).

Zellkommunikation: Weiterleitung von Informationen von einer Zelle zur nächsten.

Zellproliferation: Zellwucherung; Überwiegen der Zellvermehrungs- über die Zellverluste; z.B. bei Regeneration, Entzündung. [8]

Zellzyklus: ist der zyklische Ablauf von Ereignissen in einer eukaryontischen Zelle von einer Zellteilung zur nächsten. Der Zellzyklus besteht im Regelfall aus Interphase, Mitose und Zellteilung. Insgesamt vergeht zwischen zwei Zellteilungen durchschnittlich eine Zeit von 12 bis 24 Stunden (bei Säugerzellen in Kultur). Im Zellzyklus gibt es sog. Checkpoints, an denen kontrolliert wird, ob alle Kriterien für den Eintritt in die nächste Phase erfüllt sind. Zum Beispiel muss vor der G2-Phase die DNA vollständig repliziert sein. An solchen Checkpoints besteht dann die Möglichkeit einer Unterbrechung (Arretierung) des Zellzyklus oder auch der Apoptose, des eingeleiteten programmierten Zelltodes. [9]

ZNS: (Abk. für Zentralnervensystem), im Schädel u. im Wirbelkanal befindlicher, von

Gehirn u. Rückenmark gebildeter Teil des Nervensystems. Mit seinen in Zentren u. Kerngruppen organisierten u. durch Nervenbahnen miteinander verbundenen Neuro-nervenverbänden stellt es ein kompliziert vernetztes, biologisches Informationsverarbeitungssystem dar. Das ZNS besitzt nicht nur die Fähigkeit der Aufnahme (aus Rezeptoren u. Sinnesorganen) u. Weiterleitung von Informationen aus den afferenten Nervenbahnen des somatischen u. vegetativen Nervensystems u. der efferenten, somatomotorischen und vegetativen Steuerung, sondern auch die Fähigkeit zur kurz- u. langfristigen Speicherung der Information (Gedächtnis). Durch Zusammenwirken von Zentren der allgemeinen Aktivierung der Großhirnrinde, der spezifischen afferenten Projektionssysteme, der biolog. Motivationen u. der Emotionen kommt es zu einer Art von innerem Modell, das Vorgänge außerhalb des ZNS (im übrigen Organismus u. der Umwelt) darstellt. Wichtige Elementartätigkeiten des ZNS sind die unbedingten u. die bedingten Reflexe, wobei Letztere die Funktionstüchtigkeit der Großhirnrinde voraussetzen. Durch die Verbindung zu den endokrinen Drüsen (über das Zwischenhirn-Hypophysen-System) stellt das ZNS auch die übergeordnete Integrationsstation für das Endokrinium dar. [8]

Quellen

- [1] Bundesamt für Gesundheit, Bern, Schweiz:
http://www.bag.admin.ch/strahlen/nonionisant/emf/documentation/images/pdf_d/Faktenblatt_EMF-Gesundheit.pdf
- [2] Glossar Gesundheitsberichterstattung des Robert-Koch-Instituts;
http://www.rki.de/clin_011/nn_227214/DE/Content/GBE/Gesundheitsberichterstattung/Glossar/glossar__node.html__nnn=true
- [3] Glossar von Termini der Risikoanalyse des Bundesinstituts für Risikobewertung BfR:
http://www.bfr.bund.de/cm/228/risiko_glossar.pdf
- [4] Lexikon der Neurowissenschaft; Spektrum Akademischer Verlag; Wissenschaft Online:
<http://www.wissenschaft-online.de>
- [5] Lexikon der Psychologie, Spektrum Akademischer Verlag; Wissenschaft Online:
<http://www.wissenschaft-online.de>
- [6] Mobilfunk Lexikon des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA);
<http://www.bmwa.bund.de/Navigation/Wirtschaft/Telekommunikation-und-Post/Mobilfunk/lexikon.html>
- [7] Pschyrembel (1997), 258. Auflage, Verlag Walter de Gruyter
- [8] Roche Lexikon Medizin; <http://http://www.gesundheit.de/roche>
- [9] Wikipedia Online Lexikon; <http://de.wikipedia.org>