ECOLOG
INSTITUT FÜR SOZIAL - ÖKOLOGISCHE FORSCHUNG UND BILDUNG gGmbH

Moderne Stromnetze als Schlüsselelement einer nachhaltigen Stromversorgung

Diskursanalyse zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen niederfrequenter Feldern

Auftraggeber:
Deutscher Bundestag

Auftragnehmer:
ECOLOG-Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung gGmbH

Autorenteam:
Silke Kleinhückelkotten & H.-Peter Neitzke

Moderne Stromnetze als Schlüsselelement einer nachhaltigen Stromversorgung

Diskursanalyse zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen niederfrequenter Feldern

Gutachten im Auftrag des
Deutschen Bundestags
vorgelegt dem
Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag

verfasst von: Dr. Silke Kleinhückelkotten
Dr. H.-Peter Neitzke
unterstützt durch: Dr. Julia Osterhoff
ECOLOG-Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung gGmbH
Nieschlagstr. 26
30449 Hannover
www.ecolog-institut.de

Hannover, November 2013

Das vorliegende Gutachten gibt den Kenntnisstand sowie die Einschätzungen und Auffassungen des Auftragsnehmers wieder. Diese müssen nicht mit denen des Auftragsgebers (Deutscher Bundestag) und/oder der für die inhaltliche und organisatorische Abwicklung zuständigen Institution (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) übereinstimmen.

Zusammenfassung

Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder können bei hinreichender Stärke akute organische Schäden verursachen. Die biophysikalischen Prozesse, die von der Exposition zum Schaden führen, sind bekannt. Die derzeit geltenden Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung vor Gefahren durch solche Felder wurden so festgelegt, dass die bekannten Schwellen für akute Schädigungen durch die Felder, denen die Bevölkerung ausgesetzt ist, nicht überschritten werden.

Es gibt durch epidemiologische Studien belegte Zusammenhänge zwischen den Expositionen gegenüber niederfrequenten magnetischen Feldern und vor allem dem Risiko für Leukämieerkrankungen bei Kindern und Demenzerkrankungen bei Erwachsenen unterhalb der Feldstärkeschwellen für akute Schädigungen. Aus Sicht der wissenschaftlichen Kommissionen und Gesundheitsorganisationen, auf die sich die Bundesregierung bezieht, insbesondere WHO, IARC, ICNIRP und SSK, stützen die vorliegenden experimentellen Befunde einen Zusammenhang zwischen Expositionen und Erkrankungen nicht hinreichend und es gibt keine allgemein akzeptierte wissenschaftliche Erklärung in Form eines experimentell bestätigten Wirkungsmodells für einen solchen Zusammenhang. Es ist nach den Erfahrungen mit anderen chronisch wirksamen Noxen kaum zu erwarten, dass es in absehbarer Zeit gelingen wird, die in epidemiologischen Studien festgestellten Zusammenhänge zwischen erhöhten Expositionen und chronischen Erkrankungen durch experimentelle Untersuchungen in allen Details zu stützen oder gar vom biophysikalischen Primärmechanismus bis zum Eintritt des nachweisbaren physiologischen Schadens zu erklären.

Die wissenschaftliche Evidenz für adverse Wirkungen insbesondere niederfrequenter Magnetfelder mit Stärken, die unterhalb der geltenden Grenzwerte liegen, wird von einigen in dem Forschungsbereich tätigen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern höher bewertet. Sie plädieren deshalb für niedrigere Grenzwerte und eine konsequente Beachtung des Vorsorgeprinzips. Für dessen Anwendung haben die EU-Kommission und die Europäische Umweltagentur einen Rahmen abgesteckt. In der Schweiz wurde wegen der wissenschaftlichen Hinweise auf mögliche Gesundheitsrisiken durch Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern, deren Stärke deutlich unter dem von der ICNIRP empfohlenen Grenzwert (ehemals 100 µT, jetzt 200 µT) liegt, ein Anlagegrenzwert von 1 µT festgesetzt.

Die deutsche Strahlenschutzkommission und das Bundesamt für Strahlenschutz unterstützen in ihren Stellungnahmen zwar die von der ICNIRP vorgeschlagenen und in Empfehlungen der WHO und der EU-Kommission sowie in deutsches Recht übernommenen Grenzwerte (200 µT für 50 Hz-Magnetfelder, für die Magnetfelder von Hochspannungsleitungen jedoch nur 100 µT), sprechen sich aber darüber hinaus aus Vorsorgegründen für eine Minimierung der Expositionen der Bevölkerung aus. Aus dem Bundesamt für Strahlenschutz kommt der Vorschlag, beim Bau neuer oder bei wesentlichen Veränderungen bestehender Hochspannungsleitungen dafür Sorge zu tragen, dass deren Beitrag an Orten, wo sich Personen gewöhnlich einen großen Teil des Tages aufhalten, die bestehende zivilisatorisch bedingte Hintergrundbelastung nicht wesentlich erhöht. Diese liegt unter 0,1 µT.

Aus Sicht des BUND, von engagierten Ärztinnen und Ärzten sowie Bürgerinitiativen sind die derzeit geltenden Grenzwerte viel zu hoch. Insbesondere der ICNIRP wird vorgeworfen, dass sie nur einen Teil des wissenschaftlichen Meinungsspektrums vertritt, ihr eine demokra-

tische Legitimation fehlt und sie nicht unabhängig von wirtschaftlichen Interessen ist. Auch der SSK bzw. einzelnen ihrer Mitglieder wird fehlende Unabhängigkeit unterstellt. Die Aussagen von Behörden zu Vorsorgemaßnahmen werden als viel zu unkonkret empfunden, um einen wirklichen Gesundheitsschutz zu gewährleisten.

Aufgrund der Auswertung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes und den Ergebnissen der Diskursanalyse werden Empfehlungen

- zur Gestaltung des Risikobewertungs- und -managementprozesses,
- zu Grenz- und Vorsorgewerten sowie
- zu Prioritäten in der Forschung

gegeben.

Inhalt

Kap.		Seite
1	Einleitung	1
2	Aufgabenstellung und Vorgehensweise	3
3	Biologische Effekte und gesundheitliche Risiken durch elektrische und magnetische Felder	4
3.1	Niederfrequente elektrische Felder	4
3.2	Niederfrequente magnetische Felder	5
3.3	Statische Felder	12
3.4	Wirkungsmechanismen	14
3.4.1	Induktion elektrischer Ströme	14
3.4.2	Einkopplung über Magnetit-Kristalle	15
3.4.3	Radikal-Paar-Mechanismus	16
4	Indirekte gesundheitsrelevante Effekte durch elektrische und magnetische Felder	18
4.1	Elektrische Aufladung von Objekten in elektrischen Feldern	18
4.2	Ionisation von Luftpartikeln	18
4.3	Synergistische Wirkung mit anderen Noxen	19
4.4	Störungen aktiver Implantate	21
5	Akteure und Sichtweisen in der gesellschaftlichen Diskussion über Gesundheitsrisiken durch niederfrequente Felder	22
5.1	Wissenschaftliche Kommissionen und Vereinigungen	23
5.1.1	International Agency for Research on Cancer (IARC)	23
5.1.2	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)	26
5.1.3	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR)	29
5.1.4	Strahlenschutzkommission (SSK)	29
5.1.5	BioInitiative Working Group	34
5.1.6	Stakeholder Advisory Group on ELF EMFs (SAGE)	36
5.2	Internationale und nationale Organisationen, politische Institutionen und Behörden	37
5.2.1	Weltgesundheitsorganisation (WHO)	37
5.2.2	Europäischer Rat und Europäische Kommission	38
5.2.3	European Environmental Agency (EEA)	42
5.2.4	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)	43
5.2.5	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)	44
5.3	Kommunale Entscheidungsträger	47
5.4	Umweltverbände	47
5.4.1	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND)	47
5.4.2	Bundesverband Elektrosmog e.V.	49
5.5	Ärztinnen und Ärzte	49
5.6	Bürgerinitiativen, Bürgerinnen und Bürger	50
5.7	Wahrnehmung und Bewertung der gesundheitlichen Risiken durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder und Ansprüche an das Risikomanagement	54
5.7.1	Wahrnehmung und Bewertung der gesundheitlichen Risiken durch wissenschaftliche und gesellschaftliche Akteure	54
5.7.2	Gründe für die Unterschiede in der Einschätzung von Risiken und der Angemessenheit von Schutzmaßnahmen	56
6	Grenzwerte und Vorsorgeempfehlungen	61
6.1	WHO-Empfehlungen zur Vorgehensweise bei der Festsetzung von Grenzwerten	61

6.2	Grenzwertempfehlungen wissenschaftlicher Kommissionen	63
6.2.1	Vorgehen der ICNIRP bei der Ableitung ihrer Grenzwertempfehlungen	63
6.2.2	Grenzwert- und Vorsorgeempfehlungen der Strahlenschutzkommission	65
6.3	Gesetzliche Grenzwerte in verschiedenen Ländern	67
6.3.1	Deutschland	68
6.3.2	Russland	69
6.3.3	Schweiz	69
6.4	Vorsorgeempfehlungen nichtstaatlicher Organisationen	70
6.4.1	BioInitiative Working Group	71
6.4.2	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland	71
6.5	Fazit	71
7	Empfehlungen	73
7.1	Risikobewertungs- und -managementprozess	73
7.2	Grenz- und Vorsorgewerte	75
7.3	Forschung	75
	Literatur	79
	Links	86

Tabellen

Nr.		Seite
3.1	Schemata zur Klassifizierung wissenschaftlicher Evidenz (SSK 2011, IARC (www/IARC), BUWAL 2003) (Bei den SSK-Kategorien E3 bis E1 sind in ( ) die zuvor von der SSK benutzten Bezeichnungen (SSK 2001) angegeben.)	7
3.2	Der wissenschaftlichen Evidenzkategorie 'möglich' zugeordnete gesundheitliche Auswirkungen und biologische Effekte niederfrequenter Magnetfelder mit Stärken unterhalb des gesetzlichen Grenzwerts (100 µT)	9
6.1	ICNIRP-Empfehlung für Basisgrenzwerte für die Allgemeinbevölkerung für das körperinterne elektrische Feld	64
6.2	Gesetzliche Grenzwertregelungen für den Niederfrequenzbereich in ausgewählten europäischen Ländern und den USA	68
6.3	Gesetzliche Grenzwerte für statische und niederfrequente elektrische und magnetische Felder in Deutschland (26. BImSchV)	69
6.4	Gesetzliche Grenzwerte für statische und niederfrequente elektrische und magnetische Felder und den Bereich mittlerer Frequenzen in Russland	69
6.5	Gesetzliche Grenzwerte für niederfrequente elektrische und magnetische Felder in der Schweiz	70

Abbildungen

Nr.		Seite
1.1	Akzeptanz von Landschaftsveränderungen durch die Energiewende	2
5.1	Originaldarstellung im Bericht der SSK	32
5.2	Klassifizierung der Evidenz für den Endpunkt Krebserkrankung für verschiedene Frequenzbereiche elektromagnetischer Felder für typische Expositionen der Allgemeinbevölkerung und beruflich exponierter Personen durch die Strahlenschutzkommission	33
7.1	Risk Governance Modell des IRGC	73

1 Einleitung

Um eine globale Temperaturerhöhung von mehr als 2° Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu vermeiden, sind in Industrieländern wie Deutschland Reduktionen der Treibhausgas- (THG-) Emissionen um 80 bis 95 % bis zum Jahr 2050 notwendig. Da in einigen Bereichen, z.B. Landwirtschaft und Güterverkehr, THG-Emissionsreduktionen in diesem Umfang derzeit technisch nicht möglich scheinen oder mit vergleichsweise hohen Kosten verbunden wären, muss in anderen Bereichen, in denen technologische Alternativen bereits verfügbar und mit weit geringeren Kosten realisierbar sind, eine nahezu vollständige Emissionsvermeidung erreicht werden (SRU 2011: 37). Dies gilt insbesondere für die Stromerzeugung, auf deren Konto rund 40 % der deutschen THG-Emissionen gehen. In der Stromversorgung sieht der Sachverständigenrat für Umweltfragen deshalb einen Schlüsselbereich der Energie- und Klimapolitik (ibid). Die notwendige Emissionsvermeidung im Stromsektor wird nur zu erreichen sein, wenn sowohl Anstrengungen zur Erhöhung der Effizienz des Einsatzes elektrischer Energie als auch beim Übergang zu einer Stromerzeugung unternommen werden, bei der keine oder bezogen auf die Kilowattstunde elektrischer Energie sehr viel weniger Treibhausgase emittiert werden als beim Einsatz von Kohle, Erdöl oder Erdgas. Das von der Bundesregierung beschlossene Etappenziel für das Jahr 2020 ist ein Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung von 35 %.

Die Energiewende, also der Umbau des Energiesystems mit dem Ziel einer überwiegenden Versorgung aus erneuerbaren Energien, wird von einer deutlichen Mehrheit der Deutschen unterstützt: In einer repräsentativen Erhebung zum Naturbewusstsein in Deutschland beantworteten 63 % der Befragten die Frage 'Halten Sie die Energiewende – hin zu einer überwiegenden Versorgung aus erneuerbaren Energien – für richtig?' mit einem eindeutigen "Ja", 26 % zeigten sich unentschieden, nur 6 % sprachen sich eindeutig gegen die Energiewende aus, 5 % wussten auf diese Frage keine Antwort oder machten keine Angabe (Kleinhückelkotten & Neitzke 2012). Auch andere Befragungen belegen eine hohe Zustimmung zu einer vermehrten Nutzung erneuerbarer Energien (s. z.B. AEE 2012).

Die Energiewende und die Öffnung der Energiemärkte machen einen Ausbau und eine Umstrukturierung der Stromnetze erforderlich. Während Landschaftsveränderungen durch Windenergie-, Freiflächensolar- und Biogasanlagen von jeweils einer Mehrheit in der Bevölkerung befürwortet oder zumindest akzeptiert werden, ist für Landschaftsveränderungen durch neue Hochspannungstrassen festzustellen, dass diese mehrheitlich eher abgelehnt werden (Kleinhückelkotten & Neitzke 2012, s. Abb. 1.1). Diese Ablehnung ist in allen Regionen Deutschlands gleich hoch. Bei der Akzeptanz von Landschaftsveränderungen durch Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien gibt es dagegen zum Teil deutliche regionale Unterschiede (Kleinhückelkotten & Neitzke 2012).

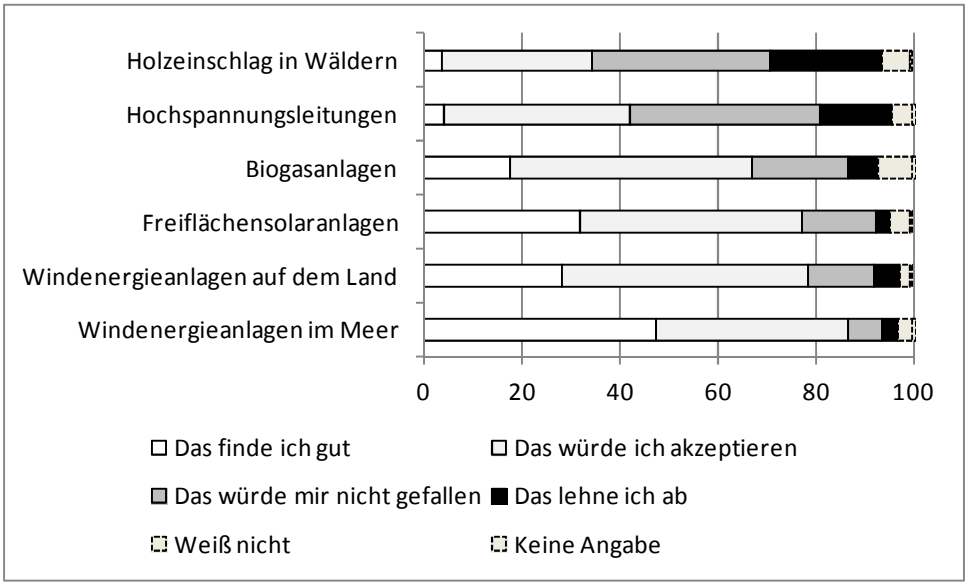

Abbildung 1.1
Akzeptanz von Landschaftsveränderungen durch die Energiewende
Frage: Wenn wir künftig mehr erneuerbare Energien nutzen wollen, wird das zu Veränderungen unserer Landschaft führen. Wie bewerten Sie die mögliche Zunahme von…? (Daten: Kleinhückelkotten & Neitzke 2012)

In der Diskussion über die Notwendigkeit neuer Stromtrassen bzw. die Verstärkung bestehender Trassen und insbesondere über deren technische Realisierung und die Trassenführungen spielt die Frage, ob diese Leitungen aufgrund der von ihnen erzeugten elektrischen und magnetischen Felder zu erhöhten Gesundheitsrisiken führen, eine zentrale Rolle. Das Thema hat seine hohe Bedeutung zum einen, weil mögliche Gesundheitsgefahren bei den potenziell Betroffenen stärkere Ängste auslösen als z.B. landschaftsästhetische Beeinträchtigungen und Wertverluste bei den eigenen Immobilien. Das Thema wird aber auch deshalb so kontrovers diskutiert, weil es unterschiedliche Auffassungen darüber gibt, wie Risiken zu bewerten sind und was der Staat tun kann oder zu tun hat, um seiner Verpflichtung nachzukommen, einen ausreichenden Schutz der Bevölkerung zu gewährleisten.

2 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Der vorliegende Bericht ist Teil eines Auftrages des Deutschen Bundestags, der inhaltlich vom Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) konzipiert wurde und dessen Ausführung in enger Abstimmung mit dem TAB erfolgte. Für diesen Bericht waren

- der Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse zu möglichen gesundheitlichen Risiken durch niederfrequente bzw. statische elektrische und magnetische Felder aufzuarbeiten,
- eine Diskursanalyse durchzuführen, das heißt die für die Diskussion über diese Risiken relevanten wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Akteure waren zu identifizieren und ihre Positionen darzustellen, wozu auch unterschiedliche Vorstellungen zu Grenzwerten und anderen Schutzkonzepten gehören, und
- Empfehlungen zur Verbesserung des Risikodialoges zu geben.

Der Auftrag umfasst als zweiten Teil die kritische Rezeption und Kommentierung eines dem TAB bereits vorliegenden Gutachtens zum Stand des Wissens zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen durch niederfrequente bzw. statische elektrische und magnetische Felder.

Zur Erfüllung der Aufgaben des ersten Teils des Auftrags wurden die folgenden Arbeiten durchgeführt:

- ergänzende Literaturrecherchen in einschlägigen wissenschaftlichen Datenbanken mit den Schwerpunkten Reviews, Meta-Analysen und wichtige Einzelarbeiten;
- Auswertung der beim Auftragnehmer bereits vorliegenden und der ergänzend beschafften Literatur;
- Darstellung des Standes der wissenschaftlichen Forschung und, wo möglich, Klassifizierung der wissenschaftlichen Evidenzen für gesundheitliche Auswirkungen und möglicherweise gesundheitsrelevante biologische Effekte durch niederfrequente bzw. statische elektrische und magnetische Felder (s. Kap. 3 und 4);
- Benennung wichtiger Akteure in der Diskussion über Gesundheitsrisiken im Zusammenhang mit Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern auf der Grundlage der langjährigen Erfahrungen des Auftragnehmers und von Auswertungen von Bürgerversammlungen, die in den Jahren 2010 bis 2013 entlang möglicher neuer Hochspannungstrassen stattfanden (s. Kap. 5);
- Darstellung der Bewertungen des Forschungsstandes zu den biologischen Wirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder bzw. der Wahrnehmungen und Einschätzungen möglicher Gesundheitsrisiken durch die Akteure auf der Grundlage von Auswertungen wissenschaftlicher Publikationen, von Gutachten und anderen Stellungnahmen, den Beobachtungen bei Bürgerversammlungen und den Informationen, die in Interviews mit Sprecherinnen und Sprechern von Bürgerinitiativen gewonnen wurden, sowie den Ergebnissen ergänzender Internet-Recherchen (s. Kap. 5);
- Dokumentation der in Deutschland und anderen Ländern geltenden gesetzlichen Grenzwerte, der diesen Grenzwerten zugrundliegenden Konzepte sowie der Forderungen und Empfehlungen nach stärker Vorsorge-orientierten Grenzwerten (s. Kap. 6);
- Ableitung von Empfehlungen zur Verbesserung des Risikodialoges (s. Kap. 7).

3 Biologische Effekte und gesundheitliche Risiken durch elektrische und magnetische Felder

Im Folgenden wird der Stand der wissenschaftlichen Forschung zu den Auswirkungen von Expositionen gegenüber niederfrequenten und statischen elektrischen und magnetischen Feldern auf biologische Systeme und insbesondere den Menschen dargestellt. Dazu wurden Recherchen in der vom ECOLOG-Institut geführten Datenbank EMF*base* (ca. 14.000 Einträge) und in der Datenbank EMF-Portal der femu-Arbeitsgruppe des Instituts für Arbeits- und Sozialmedizin des Universitätsklinikums der RWTH Aachen durchgeführt. Die Darstellung erfolgt überwiegend anhand der Ergebnisse wissenschaftlicher Reviews und Meta-Analysen, in Einzelfällen werden die Ergebnisse von Originalarbeiten zitiert.

In den folgenden Text wurden Passagen aus einer Arbeit von Neitzke & Voigt (2012) mit inhaltlichen und sprachlichen Änderungen übernommen.

3.1 Niederfrequente elektrische Felder

Elektrische Felder, die von außen auf Personen einwirken, führen im Körperinneren zu elektrischen Strömen. Diese können bei hohen Feld- und damit Stromstärken zu Übersteuerungen von Nervenzellen und Schädigungen des Gehirns sowie des Herzens führen. Diese akuten Wirkungen sind wissenschaftlich unstrittig. Die kritischen Schwellen sind bekannt und bilden die Grundlage für die Festlegung der Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung.

Für eine Abschätzung möglicher Gesundheitsrisiken durch Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen Feldern mit Stärken, wie sie im Alltag und insbesondere im Einwirkungsbereich von elektrischen Freileitungen vorkommen, ist die Datengrundlage völlig unzureichend. Es liegen bisher nur wenige Untersuchungen und nur zwei Reviews vor (Moulder & Foster 1999, Kheifets et al. 2010a). In epidemiologischen Untersuchungen wurden zum Teil erhöhte Leukämierisiken für Kinder festgestellt, die erhöhten niederfrequenten elektrischen Feldern ausgesetzt waren. Meta- oder gepoolte Analysen liegen jedoch nicht vor und das Muster der Ergebnisse wird als nicht konsistent eingeschätzt (Kheifets et al. 2010a). Anzumerken ist, dass die Bestimmung der Exposition gegenüber elektrischen Feldern, anders als die gegenüber magnetischen Feldern, grundsätzlich sehr schwierig ist, da die räumliche Verteilung niederfrequenter elektrischer Felder durch alle Materialien, die elektrisch leitfähig sind, wozu auch biologisches Gewebe gehört, stark beeinflusst wird. Dieser Effekt hat auch zur Folge, dass die Wahrscheinlichkeit hoher Dauerexpositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen Feldern sehr viel geringer ist als die für hohe Dauerexpositionen gegenüber niederfrequenten magnetischen Feldern, da elektrische Felder durch Hauswände, aber auch durch hohen Pflanzenbewuchs, völlig oder zumindest stark abgeschirmt werden. Eine Abschirmung niederfrequenter magnetischer Felder ist für große Volumina, wie Häuser und Wohnungen, dagegen kaum oder nur mit extrem hohem Aufwand möglich.

Fazit: Gesundheitliche Risiken durch niederfrequente elektrische Felder

Aufgrund der geringen Zahl an Untersuchungen und der schlechten Datengrundlage ist eine Abschätzung möglicher Gesundheitsrisiken durch Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen Feldern bisher nicht möglich. Die geringe Zahl an Untersuchungen verbietet aber Aussagen wie in Veröffentlichungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO 2006b) und von Kheifets et al. (2010a), dass mit Ausnahme des Bereichs beruflicher Expositionen weitere Forschung zu den Wirkungen niederfrequenter Felder unnötig sei.

3.2 Niederfrequente magnetische Felder

Zu den biologischen Effekten und den gesundheitlichen Auswirkungen niederfrequenter Magnetfelder gibt es zwar eine große Zahl experimenteller, klinischer und epidemiologischer Untersuchungen, aber die Forschung erfolgt weitgehend unkoordiniert, echte Replikationen von Experimenten zur Verifizierung von Effekten sind die Ausnahme und es gibt deutliche Defizite bei der biophysikalischen und biochemischen Grundlagenforschung im Hinblick auf die Identifizierung von Wirkungsmechanismen, mit denen die Befunde aus epidemiologischen Studien und experimentellen Untersuchungen an Menschen, Tieren, Organen und auf der zellulären Ebene erklärt werden könnten.

Die Strahlenschutzkommission hat, wie viele andere wissenschaftliche Kommissionen, die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu möglichen Gesundheitsrisiken bis zum Jahr 2001 nur anhand von zwei Kategorien bewertet, nämlich danach, ob eine Wirkung als wissenschaftlich nachgewiesen angesehen werden kann oder eben nicht. Die Anforderung für die Einordnung in die Kategorie 'Nachweis' waren:

- ausreichende Qualität der Untersuchungen,
- Widerspruchsfreiheit ihrer Ergebnisse,
- Bestätigung der Befunde durch Replikation der Untersuchungen, diese wurde allerdings in der Regel nur für solche mit positivem Befund gefordert, und
- Vorliegen eines anerkannten Modells für die gesamte Wirkungskette von der biophysikalischen Primärwirkung bis zur Krankheit oder körperlichen Beeinträchtigung.

Diese grobe Klassifizierung war schon seiner Zeit unbefriedigend, weil sie der Tatsache nicht gerecht wurde, dass der Umfang und die Qualität der Untersuchungen zu den verschiedenen Wirkungen schon damals sehr unterschiedlich waren und die Ergebnisse bei einigen Effekten weitgehende Konsistenz zeigten, bei anderen aber nicht. Unterhalb der Schwelle für den Nachweis gibt es deutliche Unterschiede in Bezug auf die wissenschaftliche Evidenz für verschiedene Wirkungen, die den Vorgaben der Europäischen Kommission zur Anwendung des Vorsorgeprinzips aus dem Jahr 2000 bei einer differenzierten Abschätzung möglicher Risiken zu berücksichtigen sind (EU-Kommission 2000). Das ECOLOG-Institut hat deshalb ein fünfstufiges Klassifizierungsschema entwickelt, dieses zur Bewertung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes zu den biologischen Wirkungen sowohl niederfrequenter Magnetfelder als auch hochfrequenter elektromagnetischer Felder angewandt und der Strahlenschutzkommission eine ähnlich differenzierte Bewertung empfohlen (Depner et al. 2001 a, b, Neitzke et al. 2001a, b). Dieser Vorschlag wie auch der von der Strahlenschutzkommission dann verwendete vierstufige Ansatz (SSK 2001) wurden wegen ihrer schlechten Kommunizierbareit in

der Öffentlichkeit kritisiert (Thalmann 2005). Die SSK hat deshalb zur Bewertung der Evidenz von Krebsrisiken im Zusammenhang mit elektromagnetischen Expositionen ein neues Klassifizierungsschema benutzt (SSK 2011; s. 5.1.4). Dieses dürfte allerdings unter Kommunikationsgesichtspunkten kaum geeigneter sein als der alte Ansatz und es ist zudem nur begrenzt kompatibel mit dem etablierten Ansatz der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) (s. 5.1.1) (s. Tab. 3.1).

Im Folgenden geht es darum, die wissenschaftliche Evidenz für bestimmte biologische Wirkungen niederfrequenter Magnetfelder differenziert nach Untersuchungsansätzen zu bewerten. Hierfür sind die von der SSK angewandten Kategorien nur begrenzt geeignet, weil sie Gesamtevidenzen aus allen Untersuchungsansätzen zu den jeweiligen Effekten angeben, in die zudem immer Beurteilungen der Plausibilität der Befunde eingehen (s. 5.1.4). Deshalb werden in diesem Abschnitt in Anlehnung an ein für das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft der Schweiz entwickeltes, mit dem IARC-Ansatz kompatibles, Klassifizierungsschema die folgenden Kategorien benutzt (BUWAL 2003, s. a. Röösli et al. 2003):

- **gesichert**: Eine streng wissenschaftliche Beweisführung ist möglich: Der Effekt wurde mehrfach unabhängig repliziert und die Ergebnisse stehen nicht im Widerspruch zu anderen Forschungsergebnissen.
- **wahrscheinlich**: Der Effekt wurde mehrfach relativ konsistent und unabhängig festgestellt. Die Qualität der Studien ist so weit überzeugend, dass andere Faktoren mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden können.
- **möglich**: Der Effekt wurde vereinzelt in Studien beobachtet. Die Ergebnisse sind insgesamt jedoch nicht konsistent und möglicherweise auf methodische Schwächen in den Studien zurückzuführen. Die wissenschaftlichen Hinweise werden durch Einzelfallberichte gestützt.
- **unwahrscheinlich**: Es gibt keine Hinweise für eine Assoziation, aber mehrfache Hinweise für deren Abwesenheit.
- **nicht beurteilbar**: Die Datenlage ist zu spärlich für eine Aussage. Es gibt zuweilen Einzelbefunde, häufig auch kontroverse Resultate. Die Methodik der jeweiligen Studien wird als zu wenig genügend bewertet, um daraus Folgerungen abzuleiten.

In diesem Abschnitt liegt der Schwerpunkt auf Effekten, die bei Expositionen gegenüber niederfrequenten magnetischen Feldern mit Stärken, die in der Umwelt vorkommen können (≤ 100 µT), beobachtet wurden. Etwas ausführlicher wird auf Wirkungen eingegangen, die als 'wahrscheinlich' einzuschätzen sind. Die Effekte, die den Kategorien 'möglich' oder 'nicht beurteilbar' zuzuordnen sind, werden in einer tabellarischen Übersicht bzw. in knapper Form jeweils mit Verweisen auf die Literatur aufgeführt.

Tabelle 3.1
Schemata zur Klassifizierung wissenschaftlicher Evidenz (SSK 2011, IARC (www/IARC), BUWAL 2003) (Bei den SSK-Kategorien E3 bis E1 sind in ( ) die zuvor von der SSK benutzten Bezeichnungen (SSK 2001) angegeben.)

SSK	IARC	BUWAL
E3 überzeugende Evidenz (wissenschaftlicher Nachweis)	**1** carcinogenic to humans	gesichert
E2 unvollständige Evidenz (wissenschaftlicher Verdacht)	**2A** probably carcinogenic to humans	wahrscheinlich
E1 schwache Evidenz (wissenschaftlicher Hinweis)	**2B** possibly carcinogenic to humans	möglich
E0 Keine oder unzureichende Evidenz für Zusammenhang bzw. Nicht-Zusammenhang		
EN Evidenz für das Nicht-Vorhandensein eines Zusammenhanges	**4** probably not carcinogenic to humans	unwahrscheinlich
D2 widersprüchliche Daten	**3** not classifiable	nicht beurteilbar
D1 unzureichende Daten		
D0 fehlende Daten		

Gesicherte Wirkungen

Magnetische Wechselfelder induzieren in biologischem Gewebe elektrische Ströme (s. 3.4.1). Sehr starke magnetische Wechselfelder können zu Stromreizungen führen. Bei Feldern mit einer Flussdichte von mehr als 100.000 µT kann es zu Herzkammerflimmern kommen und oberhalb von 150.000 µT sind Schädigungen des Gehirns zu erwarten. Diese Effekte, wie auch das Auftreten von Magnetophosphenen, visuellen Sinneseindrücken auch bei geschlossenen Augen, ab 1.500 µT sind wissenschaftlich unstrittig. In normalen Alltagsumgebungen werden die Schwellenwerte für die Auslösung dieser Effekte nicht erreicht.

Wahrscheinliche Wirkungen

Leukämie-Erkrankungen bei Kindern

Leukämie ist die häufigste Krebserkrankung im Kindesalter mit einem Anteil von etwa 35 % an allen malignen Erkrankungen (Kaatsch et al. 2000). In Deutschland erkranken von 13,2 Millionen Kindern unter 15 Jahren etwa 620 jährlich neu an Leukämie, dies entspricht einer Inzidenz von 4,8 Leukämiefällen pro 100.000 Kinder pro Jahr (Schüz 2003). Bei der akuten lymphatischen Leukämie (ALL), die etwa 85 % der Leukämien im Kindesalter ausmacht, sind die Heilungschancen mit über 80 % deutlich besser als bei der akuten myeloischen Leukämie (AML) mit einer Fünfjahres-Überlebensrate von unter 60 %. Jungen erkranken häufiger als Mädchen an einer ALL (Verhältnis 1,3:1). Die Krankheit wird meist zwischen dem zweiten und dem fünften Lebensjahr diagnostiziert. An AML erkranken Jungen und Mädchen etwa gleich häufig.

Erste Hinweise auf ein erhöhtes Leukämie-Risiko bei Kindern als Folge von Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern erbrachte eine im Jahr 1979 in Denver im US-Bundesstaat Colorado durchgeführte epidemiologische Untersuchung (Wertheimer & Leeper

1979). Die Autoren berichteten seinerzeit über ein erhöhtes Risiko für Kinder, an Krebs zu erkranken, wenn in der Nähe des Hauses, in dem sie lebten, eine Stromleitung verlief, die für starke Ströme ausgelegt war. Die Ergebnisse dieser Studie wurden in weiteren Arbeiten bestätigt, doch einzelne Arbeiten, in denen keine vergleichbaren Ergebnisse festgestellt wurden, und Unsicherheiten über die Aussagekraft der Expositionsklassifizierung auf der Basis eines Verkabelungscodes, die in mehreren Arbeiten benutzt wurde, gaben immer wieder Anlass zu Zweifeln. Mittlerweile ist der Zusammenhang zwischen der Exposition von Kindern durch niederfrequente Magnetfelder und ihrem Risiko, an Leukämie zu erkranken, durch epidemiologische Studien, bei denen unterschiedliche Arten der Expositionsklassifizierung benutzt wurden, hinreichend belegt (Ahlbom et al. 2000, 2001, Savitz & Poole 2001, Brain et al. 2003, Habash 2003, Habash et al. 2003, Henshaw & Reiter 2005, McNally & Parker 2006, Irigaray et al. 2007, Pelissari et al. 2009, Schüz et al. 2009, Kheifets et al. 2010b, 2011, Maslanyj et al. 2010). Es wird in Reviews immer wieder angemerkt, dass einige Studien methodische Schwächen aufweisen, z.B. in Bezug auf die Expositionserfassung (s. z.B. Ahlbom et al. 2001, Kheifets & Oksuzyan 2008) und dass die ermittelten Risiken, gemessen an epidemiologischen Standards niedrig sind (s. z.B. Habash 2003). Gepoolte Analysen, bei denen zudem die methodischen Schwächen von Studien berücksichtigt wurden, zeigen jedoch einen konsistenten Zusammenhang zwischen dem Risiko, an Leukämie zu erkranken, und der Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern in Wohnungen (Greenland & Kheifets 2009, Kheifets et al. 2010b). Erhöhte Risiken wurden für Expositionen über 0,4 µT, teilweise schon ab 0,2 µT festgestellt, wobei sich eine Dosis-Wirkungs-Beziehung abzeichnet: Die Höhe des Risikos steigt mit der Höhe der Exposition (Ahlbom et al. 2000, Kheifets et al. 2010b, s.a. Kheifets et al. 2011): Geht man von einem relativen Risiko (odds ratio) von 1,0 für Expositionen bis 0,2 µT aus, so ergeben sich für Expositionen von mehr als 0,4 µT Werte für das relative Risiko von bis zu 2,0. Das heißt, dass sich für entsprechend hoch exponierte Kinder das Risiko, an Leukämie zu erkranken, verdoppelt.

Mögliche Wirkungen

Erkrankungen und Beeinträchtigungen des Wohlbefindens und biologische Effekte, zu deren Auftreten im Zusammenhang mit Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern mit Stärken unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte mehrfach Untersuchungen gemacht wurden und die als 'mögliche' Folgen der Exposition klassifiziert werden, sind in Tabelle 3.2 in Spalte 1 aufgelistet. In der Spalte 'Methodik' ist die jeweils angewandte Untersuchungsmethode angegeben. Bei den in der Spalte 'Referenz' aufgeführten wissenschaftlichen Arbeiten handelt es sich in der Mehrzahl um Übersichten zu den jeweiligen Forschungsbereichen (Reviews) oder Meta-Analysen, das heißt zusammenfassende Auswertungen der Daten aus mehreren Untersuchungen, in einzelnen Fällen sind Einzelarbeiten angegeben. In der Spalte 'Bemerkung' werden Hinweise zur wissenschaftlichen Einordnung der Arbeiten gegeben. Hier ist z.B. angemerkt, wenn auch Untersuchungen am Arbeitsplatz berücksichtigt wurden, was bedeutet, dass die Expositionen in einigen Fällen auch höher als die für Allgemeinbevölkerung in der Regel möglichen gewesen sein können. Bei Schlussfolgerungen aus Untersuchungen an Arbeitsplätzen gibt es zudem das grundsätzliche Problem der 'gesunden Arbeiter': Möglicherweise sehr empfindliche Bevölkerungsgruppen, wie Kinder, Ältere und gesundheitlich Vorgeschädigte, sind unter den Menschen, die im Berufsleben stehen, nicht vertreten.

Tabelle 3.2
Der wissenschaftlichen Evidenzkategorie 'möglich' zugeordnete gesundheitliche Auswirkungen und biologische Effekte niederfrequenter Magnetfelder mit Stärken unterhalb des gesetzlichen Grenzwerts (100 µT)
Angaben in der Spalte 'Methodik':
Epidemiologie: Untersuchungen in der Bevölkerung oder in bestimmten Berufsgruppen zum statistischen Zusammenhang zwischen Art und Höhe einer Exposition und dem Auftreten einer Krankheit
Laborexperiment (Mensch): Experimentelle Untersuchungen an freiwilligen Probanden
Laborexperiment (Tier): in vivo Untersuchungen an Tieren
Laborexperiment (Zelle, Gewebe): in vitro Untersuchungen an Zellen oder Gewebeproben
Abkürzungen in der Spalte 'Referenz': R: Review, M: Meta-Analyse, E: Einzelarbeit

Biologische Wirkung Gesundheitliche Auswirkung	**Methodik**	**Referenz**	**Bemerkung**
Erkrankungen und Beeinträchtigungen des Wohlbefindens			
Gehirntumoren, Kinder	Epidemiologie	R: Ahlbom et al. 2001, Kheifets 2001, McKinney 2005, M: Mezei et al. 2008, Kheifets et al. 2010c	gepoolte Analyse: keine statistisch signifikanten Ergebnisse bei Exposition der Kinder Hinweise auf erhöhte Risiken für Kinder exponierter Mütter
Gehirntumoren, Erwachsene	Epidemiologie	R: Ahlbom et al. 2001, Kheifets 2001, Kheifets et al. 2009, M: Kheifets et al. 2008, E: Coble et al. 2009	überwiegend Expositionen am Arbeitsplatz kein klarer Zusammenhang Exposition-Wirkung
Leukämie, Erwachsene	Epidemiologie	R: Ahlbom et al. 2001, Kheifets et al. 2009, M: Kheifets et al. 2008	überwiegend Expositionen am Arbeitsplatz kein klarer Zusammenhang Exposition-Wirkung
Brustkrebs, Erwachsene	Epidemiologie	R: Hanf 2002, Habash 2003, Habash et al. 2003, Feychting & Forssén 2006, M: Erren 2001, Chen et al. 2010, Sun et al. 2013	auch Expositionen am Arbeitsplatz Expositionen in der Wohnung: nur einzelne positive Befunde aktuelle Metaanalysen: kein erhöhtes Brustkrebsrisiko bei exponierten Frauen erhöhtes Brustkrebsrisiko bei Männern
Krebs	Laborexperiment (Tier)	R: Habash 2003, Habash et al. 2003, Juutilainen et al. 2006, Juutilainen 2008	Förderung der Entwicklung von Tumoren, die durch andere Noxen verursacht wurden
Herz-Kreislauf-Erkrankungen	Epidemiologie	R: Habash et al. 2003, Johansen 2004, Kheifets et al. 2007, Kheifets et al. 2009, McNamee et al. 2009	Expositionen am Arbeitsplatz einzelne positive Befunde vor allem in älteren Studien
Neuro-degenerative Erkrankungen: Alzheimer Krankheit	Epidemiologie	R: Ahlbom 2001, Ahlbom et al. 2001, Habash et al. 2003, Hug et al. 2006,	deutliche Hinweise auf erhöhte Risiken bei Expositionen am Arbeitsplatz (Industrie, Bahn), Einfluss anderer Faktoren unklar

Biologische Wirkung Gesundheitliche Auswirkung	Methodik	Referenz	Bemerkung
		Kheifets et al. 2009, M: Garcia et al. 2008, Vergara et al. 2013, E: Huss et al. 2009	deutlich erhöhte Risiken bei Anwohnern von Hochspannungstrassen
Neuro-degenerative Erkrankungen: Amyotrophe Lateralsklerose	Epidemiologie	R: Ahlbom 2001, Ahlbom et al. 2001, Habash et al. 2003, Johansen 2004, Kheifets et al. 2009, M: Vergara et al. 2013, E: Huss et al. 2009	deutliche Hinweise auf erhöhte Risiken bei Expositionen am Arbeitsplatz, Einfluss anderer Faktoren unklar (z.B. Elektroschocks) erhöhte Risiken bei Anwohnern von Hochspannungstrassen
Psychische Störungen: Depressionen	Epidemiologie	R: Ahlbom 2001, Ahlbom et al. 2001	positive Befunde, aber nur wenige Untersuchungen
Psychische Störungen: Selbstmord	Epidemiologie	R: Ahlbom 2001, Ahlbom et al. 2001	positive Befunde, aber nur wenige Untersuchungen
Störungen der Reproduktion	Epidemiologie	R: Ahlbom et al. 2001, Habash 2003, Habash et al. 2003, Juutilainen 2003, Feychting 2005	Untersuchungen zu sehr unterschiedlichen Effekten
	Laborexperiment (Tier, Zelle)	R: Habash et al. 2003, Juutilainen 2003	
Elektrosensibilität	Epidemiologie	R: Levallois 2002, Baliatsas et al. 2012a, M: Baliatsas et al. 2012b	kein klarer Zusammenhang zwischen der Exposition und dem Auftreten von Symptomen Meta-Analyse: leicht erhöhte relative Risiken für einige Symptome aber keine statistische Signifikanz
	Laborexperiment (Mensch)		sehr unterschiedliche Untersuchungsansätze kein klarer Zusammenhang zwischen der Exposition und dem Auftreten von Symptomen
Biologische Effekte			
Beeinflussung der Gehirnaktivität	Laborexperiment (Mensch)	R: Carrubba & Marino 2008	
Beeinflussung kognitiver Funktionen	Laborexperiment (Mensch)	R: Crasson 2003, M: Barth et al. 2010	Untersuchungen zu sehr vielen Effekten, wenige Untersuchungen zum selben Effekt
Störungen des Immunsystems	Laborexperiment (Tier, Zelle)	R: Habash et al. 2003	Untersuchungen zu sehr vielen Effekten, wenige Untersuchungen zum selben Effekt
Störungen des Hormonsystems: Melatonin	Klinische Studie, Laborexperiment	R: Karasek & Lerchl 2002, Habash et al. 2003, Karasek & Woldanka-Okonska	zahlreiche positive Befunde bei Expositionen am Arbeitsplatz und in der Wohnung

Biologische Wirkung Gesundheitliche Auswirkung	Methodik	Referenz	Bemerkung
	(Mensch)	2004	
	Laborexperiment (Tier, Gewebe)	R: Karasek & Lerchl 2002, Habash et al. 2003, Karasek & Woldanka-Okonska 2004	wenige positive Befunde
Gentoxische Effekte	Laborexperiment, (Tier, Gewebe, Zelle)	R: Habash 2003, Habash et al. 2003, Crumpton & Collins 2004, Vijayalaxmi & Obe G. 2005, Santini et al. 2009, M: Vijayalaxmi & Prihoda 2009	überwiegend kleine, aber statistisch signifikante Effekte
Störung zellulärer Funktionen	Laborexperiment (Tier, Gewebe, Zelle)	R: Habash et al. 2003, Simko & Mattsson 2004, Santini et al. 2005, Santini et al. 2009	zahlreiche Untersuchungen, in einzelnen Fällen konsistente Ergebnisse

Nicht beurteilbare Wirkungen

Wegen der geringen Zahl an Untersuchungen, methodischer Defizite und inkonsistenter Befunde werden die folgenden Wirkungen bzw. Effekte, die im Zusammenhang mit Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern untersucht wurden, in die Kategorie 'nicht beurteilbar' eingeordnet:

- Parkinson Krankheit: wenige epidemiologische Studien auch an Arbeitsplätzen (Habash et al. 2003, Hug et al. 2006, Kheifets et al. 2009)
- Störungen des Hormonsystems (u.a. Stresshormone; Melatonin s.o.): einige experimentelle Untersuchungen an Mensch und Tier (Karasek & Woldanka-Okonska 2004)

Fazit: Gesundheitliche Risiken durch niederfrequente magnetische Felder

Es gibt aufgrund der weitgehend konsistenten Befunde in epidemiologischen Studien eine relativ starke wissenschaftliche Evidenz, dass Dauerexpositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern zu einem erhöhten Leukämierisiko bei Kindern führen. Das Risiko steigt ab etwa 0,2 µT mit der Höhe der Exposition. Bei den anderen untersuchten Krankheiten und Störungen des Wohlbefindens liegen sehr viel weniger Befunde vor und/oder diese sind weniger konsistent. Erhöhungen der Risiken für diese Erkrankungen durch Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern werden deshalb nur als 'möglich' klassifiziert. Aufgrund der Konsistenz der Ergebnisse der Untersuchungen zu Risikoerhöhungen a) durch beruflich bedingte Expositionen gegenüber niederfrequenten magnetischen Feldern und b) durch solche in der Umgebung von Hochspannungsfreileitungen ergibt sich eine relativ hohe wissenschaftliche Evidenz für einen kausalen Zusammenhang zwischen der Exposition ge-

genüber niederfrequenten magnetischen Feldern und der Alzheimer Krankheit. Bei den Effekten, zu denen experimentelle Untersuchungsergebnisse vorliegen, ergeben sich den vorstehenden Auswertungen zufolge die stärksten wissenschaftliche Evidenzen bei solchen, die auf zellulärer Ebene (in vitro) untersucht wurden. Dazu gehören Veränderungen am Erbgut und Einflüsse auf zelluläre Funktionen, wie den Stofftransport und die Auslösung von Zellstressreaktionen.

3.3 Statische Felder

Während zu den Wirkungen niederfrequenter Felder, insbesondere niederfrequenter Magnetfelder, eine große Zahl sowohl epidemiologischer als auch experimenteller Untersuchungen vorliegt, gibt es zu den Wirkungen statischer Felder nur vergleichsweise wenige Untersuchungen. Diese wurden zudem überwiegend mit sehr starken Feldern durchgeführt.

Ergebnisse von Untersuchungen am Menschen

Die wenigen bisher durchgeführten epidemiologischen Untersuchungen zu den Folgen von Expositionen gegenüber statischen Feldern beziehen sich alle auf Magnetfelder an Arbeitsplätzen. In einigen Studien wurden bei Beschäftigten, die gegenüber statischen Magnetfeldern exponiert waren, erhöhte Raten für verschiedene Krebserkrankungen, u.a. Krebs der Lunge, der Bauchspeicheldrüse und des hämatologischen Systems festgestellt (Feychting 2005a). Eine eindeutige Bewertung des Risikos ist bisher jedoch aus mehreren Gründen nicht möglich:

- Die Zahl der Studien ist gering und die Befunde sind nicht konsistent.
- Die Exposition wurde oft nur sehr grob ermittelt.
- Die Beschäftigten waren an ihren Arbeitsplätzen oft auch anderen Noxen ausgesetzt, die ursächlich für die Krebserkrankungen gewesen sein könnten.

Gleiches gilt für andere Gesundheitsrisiken, die zudem noch viel seltener untersucht wurden.

Die physiologischen Folgen von Expositionen gegenüber statischen Feldern wurden am Menschen auch unter Laborbedingungen untersucht. Ein gut untersuchter Effekt elektrostatischer Felder ist die Wahrnehmung dieser Felder dadurch, dass die von ihnen verursachten Oberflächenladungen dazu führen, dass sich die Haare aufstellen oder dass es Funkenentladungen (Mikroschocks) gibt. Die Höhe der Wahrnehmungsschwelle liegt im Bereich von 10 bis 45 kV/m, hängt aber von vielen, sowohl physiologischen als auch umgebungsabhängigen, Faktoren ab.

An Probanden, die magnetostatischen Feldern ausgesetzt waren, wurden Auswirkungen in den folgenden Bereichen untersucht: Funktionen des peripheren Nervensystems, Gehirnaktivität, kognitive Funktionen, Sinneswahrnehmung, Herzfunktionen, Blutdruck, Serumprotein- und Hormonniveaus, Körper- und Hauttemperatur. In einigen Studien wurden in sehr starken Feldern (1 T und mehr) Beeinflussungen des Nervensystems festgestellt (WHO 2006b: 7). Kurzzeitige Expositionen gegenüber statischen 100 mT-Magnetfeldern führten zu Veränderungen des Blutdrucks und der Herzschlagrate (Hinman 2002). Für die Bewertung der mit Expositionen gegenüber statischen elektrischen und magnetischen Felder verbundenen ge-

sundheitlichen Risiken sind die bisher durchgeführten experimentellen Untersuchungen unzureichend: Es wurden zwar viele unterschiedliche Effekte untersucht, aber die Studien sind weder im Hinblick auf die untersuchten Personengruppen noch bezüglich der betrachteten Wirkungen vergleichbar. Zudem waren die Probandenzahlen fast immer viel zu klein.

Ergebnisse von Tierexperimenten

Es liegen bisher nur wenige Untersuchungen zu den Wirkungen elektrostatischer Felder auf Tiere vor, von denen nur die zur Feldwahrnehmung positive Befunde lieferten. Zur Wirkung magnetostatischer Felder wurden dagegen vergleichsweise viele Untersuchungen durchgeführt, die meisten allerdings für sehr starke Felder (WHO 2006b: 103ff): Das Bewegungsverhalten von Versuchstieren deutet darauf hin, dass starke Felder (1 T und mehr) von ihnen als unangenehm empfunden werden. Wenn größere Tiere in Felder von 0,1 T und mehr gebracht werden, führt dies zur Ausbildung elektrischer Potentiale im Bereich des Herzens und größerer Blutgefäße. Für Felder im mT-Bereich wurden Einflüsse auf die hormonelle Regulation des Blutdrucks und das Knochenwachstum (WHO 2006b: 174) festgestellt. Aber es wurden auch Effekte in Feldern mit Flussdichten in der Größenordnung des Erdmagnetfeldes beobachtet, u.a. Beeinträchtigungen des Orientierungsvermögens von Wirbeltieren und Wirbellosen (WHO 2006b: 5) sowie Störungen der Synthese des Hormons Melatonin in der Zirbeldrüse (Pinealorgan; Semm et al. 1980; Reuss et al. 1983). Die Erkenntnisse aus den tierexperimentellen Untersuchungen deuten insgesamt darauf hin, dass statische Magnetfelder mit Flussdichten im Bereich von 10 bis 100 µT biologisch wirksam sind. Aber auch in diesem Untersuchungsfeld ist die Datenlage bisher unzureichend für eine Risikobewertung, zumal es nur sehr wenige in vivo-Untersuchungen zur Gentoxizität und zu Krebs im Zusammenhang mit statischen Feldern gibt.

Ergebnisse von In vitro-Untersuchungen

Mit Hilfe von Untersuchungen biochemischer Reaktionen unter Einwirkung elektrischer oder magnetischer Felder und Expositionsexperimenten an Einzelzellen, Zellkulturen, Gewebeproben oder isolierten Organen lassen sich Erkenntnisse zu grundlegenden Wechselwirkungen zwischen der jeweiligen Noxe und lebender Materie gewinnen. Solche Untersuchungen erlauben jedoch für sich allein keine Aussage über gesundheitliche Risiken, sie können allenfalls Hinweise liefern, dass möglicherweise gesundheitsrelevante Effekte auftreten können. In vitro-Untersuchungen zur Wirkung statischer Magnetfelder wurden u.a. in den folgenden Bereichen durchgeführt: Gentoxizität, Zellwachstum, Gen-Expression, Funktionen der Zellmembran, Enzymaktivität, Zellmetabolismus und Zellorientierung (WHO 2006: 58ff). In allen Untersuchungsbereichen gab es sowohl positive als auch negative Befunde, auch schon bei Feldern mit Flussdichten von wenigen µT. Aufgrund der Vielfalt der untersuchten Effekte und Systeme, u.a. unterschiedliche Zelltypen, und weil kaum vergleichbare Untersuchungen vorliegen, ergibt sich kein klares Gesamtbild.

Fazit: Gesundheitliche Risiken durch statische Felder

Die oft zu hörende Behauptung, Expositionen gegenüber magnetischen Gleichfeldern, die schwächer sind als das Erdmagnetfeld, stellten kein gesundheitliches Risiko dar, da der Mensch sich im Zuge der Evolution an dieses angepasst habe, ist angesichts der skizzierten

Befunde sicher nicht zu halten. Für eine belastbare Risikoabschätzung liegen bisher aber viel zu wenige Untersuchungen zu den Wirkungen von Gleichfeldern vor. Insbesondere fehlen Untersuchungen zu den Wirkungen von Feldern mit Stärken im Bereich von 1 bis 100 µT, die im Bereich von Stromtrassen auftreten können und zu den Synergieeffekten mit anderen Umwelteinflüssen, z. B. auch mit dem Erdmagnetfeld in Abhängigkeit von der relativen Orientierung der Felder.

3.4 Wirkungsmechanismen

Ein wissenschaftlich breit anerkanntes biophysikalisches Wirkungsmodell ist a) die Voraussetzung für ein zielgerichtetes Design von Experimenten und b) aus Sicht der meisten wissenschaftlichen Kommissionen unerlässlich für die Bewertung epidemiologischer und experimenteller Befunde und die Berücksichtigung ihrer Ergebnisse bei der Festlegung von Grenzwerten. Bisher gelten nur die Induktion elektrischer Ströme im Körper durch statische und niederfrequente Felder bei relativ hohen Feldstärken und die dadurch verursachten akuten biologischen Effekte als wissenschaftlich nachgewiesen. Im Folgenden wird kurz auf diese Effekte eingegangen, bevor dann zwei biophysikalische Effekte beschrieben werden, die Ansätze zur Erklärung des Einflusses von Magnetfeldern auf physiologische Prozesse bieten: die Einkopplung über Magnetit-Kristalle und der Radikal-Paar-Mechanismus.

3.4.1 Induktion elektrischer Ströme

Elektrische Felder können in elektrisch leitfähigem Material, also auch in biologischem Gewebe, elektrische Verschiebungsströme verursachen. Magnetfelder können elektrische Ströme induzieren, wenn sich entweder das Magnetfeld zeitlich ändert oder wenn sich das Material in einem Magnetfeld bewegt. Statische Magnetfelder erzeugen Gleichströme, magnetische Wechselfelder Wechselströme. Aufgrund des elektrischen Widerstands des Materials führt der Stromfluss zur Erzeugung von Wärme. In starken Magnetfeldern, die zu hohen Stromstärken führen, kann es zu einer Aufheizung des Gewebes kommen, die dieses schädigt. Ein zweiter Effekt, der schon bei geringeren Magnetfeldstärken biologisch wirksam werden kann, hat seine Ursache in den elektrischen Spannungen, die von den elektrischen Strömen verursacht werden. Wenn diese in die Größenordnung der für die Erregung von Nervenzellen notwendigen Spannungen kommen, kann dies zu Störungen der Signalübertragung entlang der Nervenbahnen und/oder der Auslösung von 'falschen' Nervenpulsen führen. Schädigungen des Gehirns und Störungen von Herzfunktionen durch diesen Effekt sind bei magnetischen Wechselfeldern mit Flussdichten von mehr als 100.000 µT zu erwarten. Ob und wie die von schwächeren Feldern induzierten elektrischen Ströme und Spannungen in die Steuerung zellulärer Prozesse eingreifen und ob damit Risiken verbunden sind, ist, obwohl der grundlegende Einkoppelungsmechanismus des Magnetfeldes in biologische Systeme schon lange bekannt ist, noch immer Gegenstand kontroverser wissenschaftlicher Diskussionen. Dass schon sehr geringe Spannungen biologische Effekte auslösen, zeigt das Beispiel einiger Meereslebewesen, wie Rochen, die Sinneszellen entwickelt haben, mit denen sie sehr geringe Spannungsunterschiede wahrnehmen können. Dies hilft ihnen wahrscheinlich bei der Navigation mit Hilfe des Erdmagnetfeldes (Wiltschko & Wiltschko 2012).

3.4.2 Einkopplung über Magnetit-Kristalle

In Bakterien, Bienen, Fischen, Vögeln aber auch in Säugetieren wurden Ansammlungen von Magnetit-Teilchen festgestellt. Magnetit ist eine spezielle Form von Eisenoxid (Fe_3O_4), dessen Eigenschaften von der Größe und der Form der Teilchen abhängen. Spin-Spin-Wechselwirkungen führen dazu, dass sich die Spins benachbarter Atome ausrichten. Dadurch entstehen Domänen, in denen alle Spins parallel sind. Bei größeren Teilchen, die aus vielen Domänen bestehen, heben sich deren magnetische Momente weitgehend auf. Kleine Teilchen mit einer Größe bis 1 µm bestehen in der Regel aus nur einer Domäne, stellen also kleine Permanentmagneten mit einem stabilen magnetischen Moment dar. Bei Teilchen mit einer Größe von weniger als 0,05 µm fluktuiert das magnetische Moment aufgrund der thermischen Anregung (die thermische Energie ist grösser als die magnetische Energie). Durch ein äußeres Magnetfeld kann aber leicht eine Ausrichtung erfolgen.

In anaeroben Bakterien wurden Ketten von Magnetit-Kristallen, die aus nur einer Domäne bestehen, nachgewiesen. Diese bewirken eine Ausrichtung des Bakteriums entlang der Magnetfeldlinien. Werden sie vom Grund eines Gewässers fortbewegt, hilft ihnen diese Ausrichtung, sich entlang von Magnetfeldlinien vom offenen, sauerstoffreichen Wasser zurück zum Sediment mit den für sie günstigeren Lebensbedingungen zu bewegen. Der Orientierungseffekt beruht in diesem Fall auf einem simplen Mechanismus, nämlich einer magnetischen Kraft, die auf die Magnetit-Teilchen wirkt. Eine aktive Steuerung der Bewegung durch das Bakterium erfolgt nicht, was sich auch daran zeigt, dass sich tote Bakterien genauso ausrichten wie lebende.

Bei höheren Lebewesen, bei denen Magnetit-Ansammlungen allenfalls einen winzig kleinen Teil der Masse ausmachen, kann der bei Bakterien und Algen beobachtete Mechanismus natürlich nicht funktionieren. Sie brauchen Informationen über Stärke und Richtung des Magnetfeldes, um sich zu orientieren und ihre Bewegungsrichtung aktiv auszurichten. Am besten untersucht sind in dieser Hinsicht Vögel. Eine große Zahl von Untersuchungen deutet darauf hin, dass Tauben und andere Vögel einen Magnetit-basierten Rezeptor im oberen Schnabel haben, der Informationen über die Stärke eines Magnetfeldes liefert (Wiltschko & Wiltschko 2012). Wie die Informationsaufnahme und -verarbeitung im Detail funktioniert, ist bisher noch nicht vollständig verstanden. Der Magnetit-Rezeptor reicht zudem nicht allein aus, damit sich Vögel orientieren können. Die fehlenden Informationen über die Richtung des Magnetfeldes werden wahrscheinlich über einen zweiten Rezeptor im rechten Auge bereitgestellt, der auf dem Radikal-Paar-Mechanismus basieren könnte (Wiltschko & Wiltschko 2012; s.u.).

Ob und ggf. welche Wirkungen Magnetit-Kristalle über die Magnetorezeption hinaus in Lebewesen haben, ist bisher nur unzureichend untersucht. Es ist schon länger bekannt, dass Magnetit auch im menschlichen Gehirn vorkommt (s. z. B. Kirschvink et al. 1992). Es spielt wahrscheinlich eine Rolle bei der Auslösung epileptischen Anfällen ähnlicher Störungen des Gehirns, die in Experimenten durch schwache magnetische Gleichfelder ausgelöst wurden (Dobson et al. 1995).

3.4.3 Radikal-Paar-Mechanismus

Der Radikal-Paar-Mechanismus wurde zunächst nur im Zusammenhang mit der Magnetorezeption diskutiert (Schulten et al. 1976, 1978, Ritz et al. 2000), könnte aber auch eine allgemeinere Erklärung für den Einfluss von Magnetfeldern auf biologische Systeme liefern und zwar über die Beeinflussung der Lebensdauer bzw. der Konzentration freier Radikale (Hore 2012).

Freie Radikale haben aufgrund ihrer hohen Reaktivität eine Schlüsselfunktion im Ablauf und bei der Steuerung vieler chemischer Reaktionen. Radikalpaare treten bei vielen chemischen Elementarprozessen als Zwischenzustände auf. Eine zentrale Rolle spielen transiente Radikal-Paare z. B. bei der bakteriellen und pflanzlichen Photosynthese, bei der Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt wird. Auch bei der Kanzerogenese können Radikale wirksam sein. Wenn durch einen äußeren Einfluss, z. B. UV-Strahlung, in einer Zelle Radikal-Paare entstehen, die die DNA angreifen können, und es der Zelle nicht gelingt, diese Defekt zu reparieren, kann dies zu Krebs oder anderen Schäden führen. Wenn die Reaktionskinetik der Radikale durch ein äußeres Magnetfeld verändert und dadurch deren Menge oder Lebenszeit geändert wird, könnte sich dies auf die Entwicklung von Krankheiten auswirken.

Das Prinzip des Radikal-Paar-Mechanismus lässt sich wie folgt skizzieren (für einen ausführlichere Darstellung s. Neitzke 2012):
Ein Molekül wird durch Energiezufuhr in einen angeregten Zustand versetzt. In diesem Zustand ist das Molekül aber nicht stabil, sondern es entsteht ein Radikal-Paar. Radikale sind Moleküle mit ungepaarten Elektronen. Bei ihrer Entstehung aus dem Molekül sind die Spins der Elektronen wie im Molekül antiparallel. Das Radikal-Paar ist also in einem Singlett-Zustand. Die Wechselwirkung eines Elektronenspins mit dem Spin eines Atomkerns kann jedoch zu einem Umklappen des Spins des Elektrons führen. Das Elektronenpaar wechselt vom Singlett- in einen Triplett-Zustand, in dem die Spins gleichgerichtet sind. Während seiner Lebenszeit oszilliert das Radikal-Paar aufgrund der Wechselwirkung zwischen Elektronen- und Kernspin ständig zwischen diesen beiden Zuständen. Im Triplett-Zustand ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Radikale wieder zu einem Molekül vereinigen, geringer als im Singlett-Zustand. Ein Magnetfeld kann über seine Wirkung auf die Spins eine Verschiebung des Gleichgewichts zwischen Singlett- und Triplett-Zuständen herbeiführen bzw. die Lebensdauer freier Radikale beeinflussen. Die Ausbeute an freien Radikalen steigt zunächst mit zunehmender Magnetfeldstärke. Bei einer bestimmten Stärke des Magnetfeldes, die von der Stärke der Wechselwirkung zwischen Kern- und Elektronenspin und damit von den Eigenschaften des Atomkerns abhängt, wird ein Maximum in der Produktion freier Radikale erreicht. Mit weiter steigender Magnetfeldstärke nimmt die Ausbeute an freien Radikalen wieder ab und die von Singlett-Radikal-Paaren zu. Beim Radikal-Paar-Mechanismus ist also ein Fenstereffekt zu erwarten. In der von Juutilainen et al. (2006) vorgelegten Auswertung von Experimenten zu synergistischen Wirkungen von Magnetfeldern mit krebserregenden Noxen zeigt sich ein solcher Effekt (s. 4.3).

Damit eine äußere Einwirkung, hier das Magnetfeld, einen messbaren Einfluss auf eine chemische Reaktion haben kann, muss dieser deutlich über den Effekten liegen, die durch das thermische Rauschen verursacht werden. Der auf ein bestimmtes Volumen bezogene Energieinhalt des Erdmagnetfeldes und der meisten technogenen Magnetfelder ist um viele

Größenordnungen kleiner als der entsprechende thermische Energiegehalt. Dass der Radikal-Paar-Mechanismus trotzdem 'funktioniert' (s. z.B. Hore 2012), liegt daran, dass die vom Magnetfeld verursachte Singlett-Triplett-Mischung ein von der Temperatur unabhängiger Prozess ist. Damit ein schwaches Magnetfeld eine Singlett-Triplett-Mischung beeinflussen kann, muss allerdings zunächst ein Radikal-Paar erzeugt werden und dafür wird tatsächlich eine Energie gebraucht, die über der thermischen Energie liegt. In lebendem Gewebe wird durch chemische Prozesse jedoch laufend genug Energie bereitgestellt. Auch hochfrequente elektromagnetische Felder (Licht, UV-Strahlung) können die für die Radikal-Paar-Bildung notwendige Energie liefern.

Der Radikal-Paar-Mechanismus kommt als biophysikalischer Primärprozess grundsätzlich in Frage, bisher fehlen aber einschlägige Experimente zur Überprüfung seiner physiologischen Wirksamkeit und Relevanz.

4 Indirekte gesundheitsrelevante Effekte durch elektrische und magnetische Felder

Neben den im Kapitel 3 diskutierten direkten möglicherweise gesundheitsschädlichen Wirkungen elektrischer Felder können solche Felder durch

- elektrische Aufladung von Objekten und
- Ionisation von Luftpartikeln

auch indirekte Wirkungen auf den Menschen haben.
Sowohl bei elektrischen als auch bei magnetischen Feldern sind

- synergistische Wirkungen mit anderen Noxen

denkbar.
Schließlich können sowohl elektrische als auch magnetische Felder durch

- Störungen aktiver Implantate

zu Gefahren für Leben und Gesundheit führen.

4.1 Elektrische Aufladung von Objekten in elektrischen Feldern

Elektrische Felder können in elektrisch leitfähigen Objekten ohne Erdung Ladungsträger verschieben, wodurch Oberflächenladungen entstehen können. Solche Aufladungen können bei metallischen Objekten auftreten, die sich unter einer Hochspannungsfreileitung befinden, z.B. an einem unter einer Freileitung abgestellten Kraftfahrzeug. In Wechselfeldern ändert sich die Polarität der Oberflächenladung im Takt der Oszillation des Feldes. Nähert sich eine Person mit Erdkontakt einem solchen geladenen Objekt, so kann es zu Funkenentladungen kommen und über die Funkenstrecke oder den Berührungskontakt fließt ein elektrischer Strom über den Körper zur Erde ab. Bei der betroffenen Person kann dieser Effekt zu Wirkungen führen, die von einer lästigen oder schmerzhaften Wahrnehmung über eine unwillkürliche Muskelkontraktion bis hin zur Schädigung des Organismus reichen. Die Art und Stärke der Wirkung hängt dabei u.a. von der Stärke des elektrischen Feldes, der Größe des Objekts und seiner Orientierung relativ zum Feld, der Höhe des Ableitwiderstandes zur Erde sowie der Stärke und der Dauer des Kontaktstromes ab. Zu den Wirkungen elektrischer Ströme und ihren Schwellenwerten gibt es umfangreiche Untersuchungen. Diese ergaben unter anderem, dass die Wahrnehmungsschwellen für Funkenentladungen und durch den Körper abfließende Ströme auch stark von den individuellen Eigenschaften der jeweiligen Person abhängen: Frauen und Kinder sind wegen eines geringeren Hautwiderstandes in der Regel empfindlicher als Männer. Sie hängen auch von der Empfindlichkeit der betroffenen Körperstelle ab.

4.2 Ionisation von Luftpartikeln

Die von einer Freileitung ausgehenden elektrischen Felder sind inhomogen, die größten Feldstärken werden in unmittelbarer Umgebung der Leiterseile erreicht. Sehr hohe Feldstärken treten auch an Spitzen elektrisch leitfähiger Objekte auf, die sich in starken Feldern be-

finden. Die starken Felder an den Leiterseilen einer Hochspannungsfreileitung können zu einem Zusammenbruch der Isolation durch die umgebende Luft führen. Dieser Effekt wird als Korona-Entladung bezeichnet. Solche Entladungen lassen sich konstruktiv nicht vollständig vermeiden, da Staub- und Schmutzablagerungen oder Wassertropfen Störungen und letztlich Verstärkungen des elektrischen Feldes verursachen können. Korona-Entladungen führen dazu, dass an den Leiterseilen von Hochspannungsfreileitungen Wolken positiv oder negativ geladener Ionen entstehen. Diese können vom Wind fortgetragen werden. Messungen ergaben, dass auf den windabgewandten Seiten von Freileitungen Erhöhungen der Ladungsdichte noch in Abständen von einigen Kilometern von den Leitungen möglich sind (NRPB 2004: 45). Ionen aus den Ladungswolken können sich an Teilchen in der Luft anlagern und diese damit aufladen. Eine solche Aufladung kann wiederum zu einer verstärkten Ablagerung von Schadstoffen in der Umgebung von Freileitungstrassen (Henshaw et al. 1996, Öberg & Peltola 2009, Tammet & Kimmel 1998) aber auch auf der Haut oder in der Lunge von Menschen in Trassennähe führen (Cohen et al. 1998). Die Ablagerung in den Atemwegen nimmt mit der Zahl der Ladungen auf den Partikeln zu und mit der Teilchengröße ab (NRPB 2004: 46). Berechnungen von Henshaw und Fews ergaben, dass bei Menschen, die sich auf der windabgewandten Seite von Hochspannungsfreileitungen im Freien aufhalten 20 bis 60 Prozent mehr Teilchen in der Lunge abgelagert werden als bei Menschen auf der Luv-Seite (Angaben in: NRPB 2004: 46). Auch innerhalb von Wohnungen ist mit einer erhöhten Teilchendeposition in der Lunge zu rechnen (NRPB 2004: 46). Wechselnde Windrichtungen führen natürlich zu einer Nivellierung der Unterschiede in den Belastungen durch gut lungengängige Partikel. Ob der Korona-Effekt in Verbindung mit der Verdriftung der dadurch entstehenden Ionen und ihrer Anlagerung an Partikel in der Luft zu erhöhten Gesundheitsrisiken führt, ist umstritten (Henshaw 1997, 2002, Toburen 1996). Wenn die Ionisation von Luftschadstoffen tatsächlich zu einem erhöhten Risiko für Lungenerkrankungen, insbesondere Lungenkrebs, führen würde, sollte der Effekt in Bevölkerungsgruppen, die in Gegenden mit hohen Schadstoffkonzentrationen und einer weitgehend konstanten Windrichtung auf der Lee-Seite von Hochspannungsfreileitungen leben, am größten sein. Obwohl dieses Thema schon seit mehr als 15 Jahren diskutiert wird, sind bisher keine epidemiologischen Untersuchungen zur Überprüfung des Effekts durchgeführt worden. Eine solche epidemiologische Untersuchung wäre sicher nicht einfach, vor allem weil an vielen Leitungen wechselnde Windrichtungen zu einer Nivellierung von Expositionsunterschieden führen. Das heißt, dass es schwierig wäre, eine eindeutig nicht-exponierte Referenzgruppe zu definieren und dass die Gefahr von Fehlklassifizierungen der Exposition groß wäre, was zu einer Nivellierung des aus des statistischen relativen Risikos führen würde, selbst wenn das tatsächliche Risiko der Anwohner nicht zu vernachlässigen wäre.

4.3 Synergistische Wirkungen niederfrequenter Magnetfelder mit anderen Noxen

Während epidemiologische Studien zum Krebsrisiko in Verbindung mit erhöhten Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern, zumindest im Hinblick auf Leukämieerkrankungen von Kindern, ein weitgehend konsistentes Bild ergeben, ist dies bei Experimenten mit Tieren, die solchen Feldern ausgesetzt wurden, nicht der Fall (IARC 2002). Konsistentere Ergebnisse zeigen dagegen die Experimente, in denen Tiere, Gewebe oder Zellen einem

niederfrequenten Magnetfeld in Kombination mit einer kanzerogenen Noxe (Ionisierende Strahlung, Dimethylbenz[a]antracene) ausgesetzt wurden (Juutilainen et al. 2006, Juutilainen 2008).

Bei einer Art Meta-Analyse (Juutilainen et al. 2006), in die 65 Studien einbezogen wurden, ergab sich, dass der Anteil der positiven Studien, also von solchen, bei denen ein Effekt der kombinierten Exposition festgestellt wurde, hochsignifikant von dem Wert abweicht, den man erwarten würde, wenn solche Befunde nur durch Zufall zustande gekommen wären. Es ist also davon auszugehen, dass der Effekt real ist. In 36 Studien führte die zusätzliche Exposition gegenüber einem niederfrequenten Magnetfeld zu einer Verstärkung der Wirkung der kanzerogenen Noxe, in 16 Experimenten zu einer Abschwächung. In sieben Studien wurden sowohl verstärkende wie abschwächende Wirkungen festgestellt, wobei die Richtung des Effekts von Ablauf des Experiments (Dauer der Magnetfeld-Exposition, Abfolge der Expositionen), dem untersuchten Endpunkt und der untersuchten Zelllinie abhing. Bei der Untersuchung gentoxischer Endpunkte überwogen eindeutig verstärkende Wirkungen, während in Studien zur Apoptose (programmierter Zelltod) häufiger eine Unterdrückung der Wirkung der kanzerogenen Noxe durch das Magnetfeld beobachtet wurde. Eine Analyse der Befunde nach Höhe der Exposition ergab interessanterweise, dass die Dosis-Wirkungsbeziehung nicht stetig ist, sondern dass der Anteil der positiven Studien bei einer Flussdichte im Bereich von 1 bis 3 mT ein deutliches Minimum aufweist. Sowohl bei stärkeren als auch bei Feldern unter 100 µT, dem gesetzlichen Grenzwert zum Schutz der Allgemeinbevölkerung (s. Kap. 6), ist der Anteil der positiven Studien deutlich höher. Besonders ausgeprägt ist das Minimum bei der Zusammenstellung der Studien zur Gentoxizität. Ein weiterer wichtiger Befund ist ein höherer Anteil positiver Befunde unter den Studien, bei denen die Magnetfeldexposition der Exposition gegenüber der kanzerogenen Noxe voranging. In Bezug auf die Bedeutung der Dauer der Exposition auf den Ausgang der Experimente ergibt sich kein klares Bild.

Der nicht-stetige Verlauf der 'Dosis-Wirkungs-Beziehung' ist für die Autoren der Meta-Studie das interessanteste Ergebnis ihrer Auswertung, da es ihrer Meinung nach einen Hinweis darauf gibt, welcher biophysikalische Mechanismus den beobachteten Effekten zugrunde liegen könnte (Juutilainen et al. 2006): Der Radikal-Paar-Mechanismus zeigt eine Abhängigkeit von der magnetischen Flussdichte, die dem nicht-stetigen Verlauf der 'Dosis-Wirkungs-Beziehung' entspricht. Dieser Mechanismus kann die Rekombinationswahrscheinlichkeit von Paaren von Molekülfragmenten (Radikale) und damit deren Lebensdauer beeinflussen (s. 3.4.3). Freie Radikale spielen eine natürliche Rolle bei einigen zellphysiologischen Prozessen und bei der Signalübertragung, können aber auch negativ auf zellbiologische Prozesse wirken. Die Wahrscheinlichkeit, dass sie ihre Funktionen in einer Zelle erfüllen oder schädigend wirken, kann durch ein Magnetfeld über den Radikal-Paar-Mechanismus beeinflusst werden. Beim Radikal-Paar-Mechanismus gibt es einen Hoch- und einen Niedrig-Feld-Effekt. Für die Autoren der Meta-Studie bietet der Radikal-Paar-Mechanismus einen Ansatz zur Erklärung der Befunde, da bei seiner Wirksamkeit ein starker Effekt sowohl bei niedrigen als auch bei hohen magnetischen Flussdichten, aber kein oder nur ein schwacher Effekt dazwischen, zu erwarten wäre. Bei welcher magnetischen Flussdichte das Minimum liegt, hängt von der Art der Radikale und den umgebenden Molekülen ab. Der zu erwartende Verlauf der Kurve für die Dosis-Wirkungs-Beziehung entspricht aber genau dem, der in der Meta-Studie

beobachtet wurde. Der Radikal-Paar-Mechanismus kann aber nicht erklären, warum es vor allem in Studien, bei denen die Magnetfeld-Exposition der Exposition gegenüber der kanzerogenen Noxe vorausging, einen sehr hohen Anteil solcher mit positiven Befunden gibt.

Die Autoren der Meta-Studie zur ko-kanzerogenen Wirkung niederfrequenter Magnetfelder geben zu bedenken, dass eine Bestätigung des Verlaufs der Kurve für die Dosis-Wirkungs-Beziehung bedeuten würde, dass bei niederfrequenten magnetischen Feldern mit Flussdichtewerten gerade im Bereich des von der ICNIRP vorgeschlagenen (und in Deutschland geltenden) Grenzwerts mit einem starken Effekt zu rechnen wäre.

4.4 Störungen aktiver Implantate

Es ist wissenschaftlich unstrittig, dass sowohl niederfrequente elektrische als auch magnetische Felder aktive Implantate, wie Herzschrittmacher, stören können. Die Strahlenschutzkommission geht davon aus, dass "Störbeeinflussungen von Herzschrittmachern vermieden werden können, wenn die magnetischen Immissionen stationärer elektrischer Feldquellen bei 50 Hz unter 10 µT bzw. in Bereichen, in denen Beiträge zusätzlicher 50 Hz-Feldquellen nicht zu erwarten sind, unter 15 µT bleiben" (SSK 2008: 25). Anzumerken ist allerdings, dass es unter unglücklichen Umständen (ungünstige Ausrichtung des technogenen Feldes relativ zum Erdmagnetfeld, schnelle Bewegung des Herzschrittmacherträgers) auch bei geringeren Stärken des 50 Hz-Feldes zu einer Störung des Geräts kommen könnte.

In Bezug auf elektrische Felder wird von der SSK auf Ergebnisse experimenteller Untersuchungen verwiesen, wonach Expositionen gegenüber elektrischen 50 Hz-Feldern Störbeeinflussungen bereits ab Feldstärken im Bereich zwischen 1,7 kV/m und 8,7 kV/m ergaben (SSK 2008: 25).

5 Akteure und Sichtweisen in der gesellschaftlichen Diskussion über Gesundheitsrisiken durch niederfrequente Felder

An der Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken im Zusammenhang mit Expositionen gegenüber den von Hochspannungstrassen erzeugten elektrischen und magnetischen Feldern ist ein breites Spektrum wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Akteure direkt oder indirekt beteiligt: Da sind zunächst die Bürgerinnen und Bürger, zum Teil zusammengeschlossen in einer wachsenden Zahl von Bürgerinitiativen, die sich direkt vor Ort und immer häufiger auch auf überlokaler Ebene an Protestaktionen beteiligen. Erste Ansprechinstanzen sind für sie die kommunalen Mandatsträgerinnen, Mandatsträger und Verwaltungen, von denen verlangt wird, dass sie sich für den Gesundheits-, Natur- und Umweltschutz im Sinne der Bevölkerung einsetzen. In der Frage der Bewertung möglicher Gesundheitsrisiken sind Ärztinnen und Ärzte wichtige erste Ansprechpersonen. Sie sind zudem gefragte Bündnispartner. Unterstützung erhalten die Bürgerinnen und Bürger vor Ort und auf überregionaler Ebene oft auch von Seiten einiger Umweltverbände.

An Informations- und Diskussionsveranstaltungen zum Thema 'Gesundheitsschutz' im Zusammenhang mit dem Netzausbau nehmen als Referentinnen bzw. Referenten oder Diskussionspartnerinnen und -partner oft Vertreterinnen bzw. Vertreter der zuständigen Landesbehörden teil. Diese tragen selten eigene Bewertungen möglicher Gesundheitsrisiken vor, sondern vertreten bei dieser und bei der Frage der Grenzwerte weitgehend die von Bundesumweltministerium, Bundesamt für Strahlenschutz und/oder Strahlenschutzkommission vorgegebenen Positionen, die allerdings nicht völlig deckungsgleich sind. Letztere berufen sich wiederum auf die Weltgesundheitsorganisation, die Internationale Agentur für Krebsforschung und andere etablierte wissenschaftliche Kommissionen.

Im Folgenden werden zunächst im Unterkapitel 5.1 die internationalen und nationalen Kommissionen mit ihren Zielsetzungen und wissenschaftlichen Positionen vorgestellt, die in eigener Verantwortung oder im Auftrag von Regierungen Auswertungen des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes vornehmen, Risiken bewerten und Empfehlungen zum Schutz der Bevölkerung abgeben und deren Bewertungen und Empfehlungen bisher bei der Festlegung von Grenzwerten berücksichtigt wurden:

- International Agency for Research on Cancer (Internationale Agentur für Krebsforschung)
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung)
- Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (Wissenschaftliches Komitee zu neu entstehenden und neu erkannten Gesundheitsrisiken)
- Strahlenschutzkommission

Es folgen Vorstellungen

- der BioInitiative Working Group, die eine pointierte Vorsorge-orientierte Position vertritt,

und

- der Stakeholder Advisory Group on ELF EMFs (Beratende Gruppe von Interessenvertretern zu niederfrequenten elektromagnetischen Feldern), die zwar bei der Diskussion in Deutschland keine Rolle spielt, die aber interessant ist, weil in ihr neben Fachleuten vor

allem Vertreterinnen und Vertreter verschiedener gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Interessengruppen mitwirken.

Im Unterkapitel 5.2 werden für die Diskussion in Deutschland relevante internationale und nationale Organisationen, politische Institutionen und Behörden mit ihren Zuständigkeiten und Standpunkten bei der Bewertung möglicher Risiken durch niederfrequente Felder vorgestellt:

- World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
- Europäischer Rat und Europäische Kommission
- European Environmental Agency (Europäische Umweltagentur)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- Bundesamt für Strahlenschutz

In den Unterkapiteln 5.3 bis 5.6 wird auf die Rollen und ggf. die Positionen eingegangen, die

- Kommunale Entscheidungsträger
- Umweltverbände
- Ärztinnen und Ärzte
- Bürgerinitiativen, Bürgerinnen und Bürger

in der gesellschaftlichen Diskussion einnehmen bzw. vertreten.

Erläuterungen zu den Aufgaben, zur Arbeitsweise oder zur wissenschaftlichen Positionierung der Akteure oder Hinweise auf Fehler oder Widersprüche werden, wo es notwendig oder sinnvoll erscheint, jeweils unter der Überschrift Kommentar am Ende der Unterkapitel gegeben. Eine zusammenfassende Einordnung der Funktion und der inhaltlichen Positionen der verschiedenen Akteure in der Diskussion über mögliche Gesundheitsrisiken durch erhöhte Expositionen gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern entlang von Stromtrassen erfolgt im Unterkapitel 5.7.

5.1 Wissenschaftliche Kommissionen und Vereinigungen

5.1.1 International Agency for Research on Cancer (IARC)

Der Internationalen Agentur für Krebsforschung (International Agency for Research on Cancer, IARC) wurde von der Weltgesundheitsorganisation die Aufgabe übertragen, chemische, physikalische und biologische Noxen, komplexe Noxengemische, berufliche Expositionen und Lebensstilfaktoren im Hinblick auf ihre Relevanz für Krebserkrankungen zu bewerten. Zur Evaluation des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes werden von der IARC Expertenkommissionen gebildet. Die Bewertung erfolgt im Rahmen von Monograph Meetings, bei denen fünf Kategorien von Teilnehmerinnen und Teilnehmern anwesend sein können:

1. Die **Mitglieder der Arbeitsgruppe** sind verantwortlich für die Durchführung der Aus- und Bewertungen. Sie müssen
   - sicherstellen, dass alle geeigneten Daten zusammengetragen werden,

- die Daten auswählen, die entsprechend ihrer wissenschaftlichen Qualität für die Bewertung relevant sind,
- korrekte Zusammenfassungen der Daten vorbereiten, die es Leserinnen und Lesern ermöglicht, die Schlussfolgerungen der Arbeitsgruppe nachzuvollziehen,
- die Ergebnisse epidemiologischer und experimenteller Studien zu Krebs bewerten,
- die Daten bewerten, die für das Verständnis der Karzinogenese relevant sind, und schließlich
- eine Gesamtbewertung der Karzinogenität bei Expositionen von Menschen vornehmen.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler können sich um die Mitgliedschaft in einer solchen Kommission bewerben. Sie müssen die folgenden Voraussetzungen erfüllen, um aufgenommen zu werden:

a) Sie müssen über Kenntnisse und Erfahrungen in dem jeweiligen Forschungsfeld verfügen. Diese gilt als gegeben, wenn sie wesentlich zur Forschung beigetragen haben und entsprechende Publikationen vorweisen können.
b) Sie dürfen keine tatsächlichen Interessenkonflikte haben und es darf auch nicht der Verdacht entstehen können, dass sie solche haben.

Bei der Besetzung der Arbeitsgruppen wird versucht, die demografische Vielfalt zu berücksichtigen und eine Balance bei den wissenschaftlichen Sichtweisen zu erreichen.

2. **Eingeladene Spezialisten** müssen über wichtige Kenntnisse und Erfahrungen verfügen, müssen aber nicht frei von tatsächlichen oder vermeintlichen Interessenkonflikten sein. Sie werden eingeladen, wenn die Arbeitsgruppe bei einem Thema fachliche Unterstützung braucht. Sie dürfen Texte zu Fragen der Exposition beitragen, die keinen Einfluss auf die Bewertung haben. Sie dürfen nicht den Vorsitz der Arbeitsgruppe oder einer Unterarbeitsgruppe übernehmen, Entwürfe für Texte machen, die sich auf die Beschreibung oder Interpretation von Krebsdaten beziehen, und sie dürfen auch nicht an den Evaluationen teilnehmen.
3. **Vertreter nationaler oder internationaler Gesundheitsbehörden** nehmen oft an Sitzungen teil, weil diese das Programm finanziell unterstützen oder Interesse am Gegenstand der Beratungen haben. Sie dürfen nicht den Vorsitz der Arbeitsgruppe oder einer Unterarbeitsgruppe übernehmen, Entwürfe für Texte machen oder an den Evaluationen teilnehmen.
4. **Beobachter** mit relevanten wissenschaftlichen Empfehlungen können bei einer Sitzung in begrenzter Zahl zugelassen werden. Bei der Zulassung wird ein Gleichgewicht unterschiedlicher Perspektiven angestrebt. Sie dürfen die Sitzung beobachten, aber keinen Einfluss auf die Beratungen nehmen, dürfen nicht den Vorsitz der Arbeitsgruppe oder einer Unterarbeitsgruppe übernehmen, keine Entwürfe für Texte machen und auch nicht an den Evaluationen teilnehmen. Eine Möglichkeit zu einer Stellungnahme kann ihnen vom Vorsitzenden der Arbeitsgruppe oder einer Unterarbeitsgruppe eingeräumt werden.
5. Das **IARC Sekretariat** besteht aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die die notwendige Fachkunde haben und von der IARC benannt werden. Sie fungieren als Berichterstatter und nehmen an allen Diskussionen teil. Wenn es vom Vorsitzenden der Arbeitsgruppe oder einer Unterarbeitsgruppe gewünscht wird, können sie Entwürfe für Texte erstellen oder Tabellen und Analysen vorbereiten.

Die Bewertungen der wissenschaftlichen Evidenzen für die Kanzerogenität von Agenzien werden in den IARC Monographien (*IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*) veröffentlicht, die eine Art 'Enzyklopädie der Karzinogene' der WHO darstellen. In den IARC Monographien wurden bisher Bewertungen für mehr als 900 Agenzien veröffentlicht, mehr als 400 wurden als bestätigte, wahrscheinliche oder mögliche Karzinogene klassifiziert. Die Gruppen für die Klassifikation sind wie folgt definiert:

- **Gruppe 1: Das Agens wirkt karzinogen beim Menschen**
  Diese Kategorie wird verwendet, wenn es eine hinreichende Evidenz für Karzinogenität beim Menschen gibt. Das heißt, die zuständige Arbeitsgruppe hält einen kausalen Zusammenhang zwischen einer Exposition gegenüber dem Agens und einer Krebserkrankung beim Menschen für gegeben. Ein positiver Zusammenhang zwischen Exposition und Krebserkrankung wurde in Studien beobachtet, bei denen Zufallsbefunde, Verzerrungen und Störfaktoren mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden können.
- **Gruppe 2: Das Agens wirkt wahrscheinlich oder möglicherweise karzinogen beim Menschen**
  In diese Kategorie werden zum einen Agenzien eingeordnet, bei denen der Grad der Evidenz für eine karzinogene Wirkung beim Menschen nahezu hinreichend ist, und zum anderen Agenzien, für die es keine Befunde beim Menschen aber Evidenz für eine krebserregende Wirkung beim Tier gibt. Es gibt zwei Klassifizierungssubgruppen, deren Bezeichnungen keine Bedeutung im Hinblick auf das mit dem Agens verbundene Risiko haben, sondern lediglich unterschiedliche Evidenzniveaus wiedergeben:
  2A: Das Agens wirkt wahrscheinlich karzinogen beim Menschen (höhere Evidenz)
  2B: Das Agens ist möglicherweise karzinogen beim Menschen (geringere Evidenz)
- **Gruppe 3: Das Agens ist hinsichtlich seiner Karzinogenität nicht klassifizierbar**
  Eine Zuordnung zu dieser Kategorie erfolgt, wenn die Evidenz für Kanzerogenität beim Menschen unzureichend und beim Tier unzureichend oder begrenzt ist. Eine Zuordnung zu Gruppe 3 bedeutet nicht, dass eine krebserregende Wirkung ausgeschlossen werden kann, sondern ist in der Regel als Hinweis auf die Notwendigkeit weiterer Forschung zu verstehen.
- **Gruppe 4: Das Agens wirkt wahrscheinlich nicht krebserregend beim Menschen**
  Agenzien, für die es eine hinreichende wissenschaftliche Evidenz dafür gibt, dass sie nicht krebserregend sind, werden hier eingeordnet.

Die wissenschaftlichen Evidenzen für eine kanzerogene Wirkung niederfrequenter und statischer Felder wurden im Jahr 2002 durch eine Expertenkommission der IARC evaluiert. Extrem niederfrequente Magnetfelder wurden daraufhin in die Kategorie 2B 'möglicherweise kanzerogen' eingeordnet. Im Falle der extrem niederfrequenten elektrischen sowie der statischen elektrischen und magnetischen Felder hielt die IARC-Expertenkommission die bis dahin durchgeführten Untersuchungen für nicht ausreichend (Kategorie 3 'nicht klassifizierbar')

<u>Kommentar</u>

Von der IARC werden sehr hohe Ansprüche an die Qualifikation und vor allem auch an die Unabhängigkeit der Mitglieder der Expertenkommissionen gestellt. Wegen Zweifeln an ihrer

wissenschaftlichen Unabhängigkeit wurden auch schon prominente Mitglieder der ICNIRP und des Ausschusses 'Nichtionisierende Strahlen' der Strahlenschutzkommission nicht als Mitglieder einer Expertenkommission zugelassen.

Die epidemiologischen Befunde, insbesondere zum Leukämie-Risiko von Kindern mit erhöhten Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern, wurden von der IARC-Kommission als weitgehend konsistent und ein Zusammenhang als wahrscheinlich angesehen. Dass insgesamt eine Einordnung in die Kategorie 2B erfolgte, wird mit dem Fehlen eindeutiger experimenteller Befunde begründet.

In der öffentlichen Diskussion wird bei der IARC-Klassifizierung oft fälschlicherweise unterstellt, dass diese die 'Gefährlichkeit' von Agenzien wiedergibt. Von der Presse aber auch von Referentinnen und Referenten, die bei Informationsveranstaltungen für Bürgerinnen und Bürger auftreten, wird, um deutlich zu machen, wie unbegründet Befürchtungen sind, oft angeführt, dass in die Kategorie 2B auch Kaffee eingeordnet wurde. Tatsächlich wurde die wissenschaftliche Evidenz für eine fördernde Wirkung von Kaffeesäure bei der Entwicklung von Harnblasenkrebs bewertet. Dass ein Zusammenhang für möglich gehalten wird, beruht in diesem Fall vor allem auf den Ergebnissen tierexperimenteller Untersuchungen. Die Einordnung in dieselbe Kategorie bedeutet aber eben nicht, dass Kaffee(säure) und niederfrequente Magnetfelder gleich gefährlich sind, sondern dass die wissenschaftlichen Evidenzen für eine kanzerogene Wirkung von den IARC-Kommissionen ähnlich beurteilt wurden.

5.1.2 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)

Die Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP) ist ein Verein deutschen Rechts. Der Sitz der ICNIRP ist Oberschleißheim, beim Bundesamt für Strahlenschutz. Der ICNIRP gehören 13 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus zehn Ländern an (s. Kasten 5.1). Die Mitglieder der ICNIRP sollen unabhängige Experten aus den für den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung relevanten Disziplinen sein. Ihre Mitarbeit ist ehrenamtlich. Sie sollen weder die Interessen ihrer Herkunftsländer noch der Institutionen vertreten, denen sie angehören. Alle Mitglieder haben eine Erklärung zu ihren persönlichen Interessen abzugeben. Der derzeitige Vorsitzende der ICNIRP ist Mitarbeiter im Bundesamt für Strahlenschutz. Die Nominierung der Mitglieder der ICNIRP erfolgt über bereits aktive Mitglieder der Kommission, den Exekutivrat der International Radioprotection Association (IRPA) oder durch mit der IRPA assoziierte Gesellschaften. Eine Neuwahl durch die Kommission erfolgt alle vier Jahre. Die Arbeit der ICNIRP wird durch Zuwendungen internationaler Organisationen und durch finanzielle Unterstützung von Regierungen zu einzelnen Projekten der ICNIRP finanziert.

Das Ziel der ICNIRP ist laut deren Charter die Förderung des Schutzes vor nicht-ionisierender Strahlung (NIR), worunter statische, nieder- und hochfrequente elektrische, magnetische und elektromagnetischer Felder, sichtbares Licht, Strahlung im nahen UV und Schall gefasst werden. Die Aktivitäten der ICNIRP umfassen:

- die Analyse der physikalischen Eigenschaften von NIR und von Berichten über biologische Effekte durch NIR,

- die Erarbeitung von Empfehlungen für geeignete Terminologien, Messgrößen, Einheiten und Messverfahren,
- die Entwicklung von Schutzkriterien,
- die Erarbeitung von Schutzmaßnahmen, einschließlich geeigneter Expositionsgrenzwerte,
- die Beratung zum Schutz von Arbeitern, der Bevölkerung, Patienten und der Umwelt,
- die Herausgabe von Stellungnahmen, Empfehlungen und wissenschaftlichen Berichten,
- die Sichtung von und die Berichterstattung über Informationen und die Koordination von Studien und
- die Initiierung von und die Beteiligung an Bildungs- und Forschungsprogrammen.

Kasten 5.1

Mitglieder der ICNIRP

Vorsitzender: Rüdiger Matthes, M.E., Deutschland

Rodney Croft, PhD, Australien
Maria Feychting, PhD, Schweden
Adèle Green, PhD, Australien
Kari Jokela, PhD, Finnland
James Lin, PhD, USA
Carmela Marino, PhD, Italien
Agnette P. Peralta, M.Sc., Philippinen
Zenon Sienkiewicz, PhD, Großbritannien
Per Söderberg, PhD, Schweden
Bruce E. Stuck, MSc, USA
Eric van Rongen, PhD, Niederlande
Soichi Watanabe, PhD, Japan

Die ICNIRP geht bei der Beschreibung der wissenschaftlichen Grundlagen ihrer Grenzwertempfehlungen (s. 6.2) für den Niederfrequenzbereich auf die folgenden Effekte ein (ICNIRP 2010):

- direkte Stimulation von Nervenzellen
- Auslösung von Magnetophosphenen (Wahrnehmung scheinbarer Lichteffekte)
- Beeinflussung der Aktivität des Gehirns
- Beeinträchtigung kognitiver Funktionen, des Schlafs und von Stimmungen
- elektromagnetische Hypersensitivität (unterschiedlichste akute Symptome)
- Auslösung depressiver Symptome
- Beeinflussung des neuroendokrinen Systems (Stresshormone, Melatonin)
- Neurodegenerative Erkrankungen
- kardiovaskuläre Störungen
- Beeinträchtigungen von Reproduktion und Entwicklung
- Leukämie bei Kindern
- Krebserkrankungen bei Erwachsenen
- Gentoxizität

Betrachtet werden sowohl experimentelle Befunde als auch die Ergebnisse epidemiologischer Studien. Es werden nur Arbeiten berücksichtigt, die in Zeitschriften mit wissenschaftlichem Begutachtungsverfahren (Peer Review) veröffentlicht wurden. Sehr häufig wird Bezug auf Reviews genommen. Eine Auseinandersetzung mit der Qualität von Studien erfolgt nur sehr pauschal.

Nach Auffassung der ICNIRP können nur die akuten Wirkungen der direkten Stimulation von Nerven- und Muskelzellen durch induzierte elektrische Ströme und Spannungen sowie die Auslösung von Magnetophosphenen als wissenschaftlich nachgewiesen gelten. Für alle anderen der oben genannten Effekte gibt es nach Ansicht der ICNIRP keine eindeutigen Belege (ICNIRP 2010). Zum Thema Krebs schreibt die ICNIRP (2010):
"Eine beachtliche Zahl epidemiologischer Studie, die überwiegend in den 1980er und 90er Jahren durchgeführt wurden, deuteten darauf hin, dass eine Langzeitexposition gegenüber 50 - 60 Hz-Magnetfeldern, einige Größenordnungen unterhalb der 1998 ICNIRP Guidelines, mit Krebs assoziiert sein könnte. Während in den ersten Studien Krebs im Kindesalter untersucht wurde, erfolgte später auch Forschung zu Krebs bei Erwachsenen. Im Allgemeinen wurde die ursprünglich beobachtete Beziehung zwischen 50 - 60 Hz-Magnetfeldern und verschiedenen Krebsformen nicht durch Studien bestätigt, die darauf angelegt waren zu überprüfen, ob die ursprünglichen Befunde repliziert werden können. Für Leukämie im Kindesalter ist die Situation jedoch anders. Die Forschung, die der ersten Studie folgte, hat nahe gelegt, dass es einen schwachen Zusammenhang zwischen erhöhten Expositionen gegenüber häuslichen 50 - 60 Hz-Feldern und dem Risiko für Kinderleukämie geben könnte, wobei allerdings unklar ist, ob diese kausal ist: Eine Kombination von Auswahl-Bias, eines gewissen Grades an Konfundierung und Zufall könnte die Ergebnisse erklären (WHO 2007). … Zugleich konnte kein biophysikalischer Mechanismus identifiziert werden und die experimentellen Ergebnisse von Laborstudien an Tieren oder Zellen stützen die Aussage nicht, dass Expositionen gegenüber 50 - 60 Hz-Magnetfeldern eine Ursache für kindliche Leukämie darstellen."

Kommentar

Die ICNIRP-Empfehlungen haben in vielen Ländern großen Einfluss auf die Festsetzung von Grenzwerten, zumal sie von der Weltgesundheitsorganisation übernommen werden und sich diese für eine weltweite Harmonisierung der Grenzwerte einsetzt. Der große Einfluss der ICNIRP ist zum einen darauf zurückzuführen, dass sie aus der IRPA hervorgegangen ist, die für den Bereich der ionisierenden Strahlung schon lange eine ähnliche Funktion und Bedeutung hat, wie die ICNIRP heute für den Bereich der nicht-ionisierenden Strahlung. Hinzu kommt, dass in der ICNIRP in der Vergangenheit tatsächlich einige anerkannte Fachleute mitgearbeitet haben. Zum Anderen bietet die ICNIRP den Regierungen eine wissenschaftliche Bewertung ohne abweichende Meinungen und kritische Nebentöne. Der Vorsorgegedanke kommt in den ICNIRP-Publikationen nur im Hinblick auf ihre Empfehlungen für die Forschung zum Tragen.

Von Bürgerinitiativen und Umweltverbänden, aber auch von wissenschaftlicher und politischer Seite, werden der ICNIRP mangelnde demokratische Legitimation, eine einseitige wis-

senschaftliche Sichtweise und eine zu große Nähe zur Industrie vorgeworfen (Cherry 1999, BUND Sachsen 2008: 10, Leszczynski 2010, Huss 2011, Buchner 2012, BUND 2013: 15, Kühling 2013: 24, RHT 2013). Der letzte Vorwurf wird dadurch bestärkt, dass einem langjährigen Mitglied der ICNIRP die Mitwirkung in einer Expertenkommissionen der IARC wegen des Verdachts mangelnder wissenschaftlicher Unabhängigkeit verwehrt wurde (s. 5.1.1).

5.1.3 Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR)

Das Wissenschaftliche Komitee zu aufkommenden und neu erkannten Gesundheitsrisiken (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR) ist eines von drei wissenschaftlichen Beratungskomitees der Europäischen Kommission, Generaldirektion Gesundheit und Verbraucherschutz, im Nicht-Lebensmittelbereich. SCENIHR beschäftigt sich mit komplexen oder multidisziplinären Themen, die eine umfassende Bewertung von Risiken für die Sicherheit von Verbrauchern oder die öffentliche Gesundheit erfordern. Dazu gehören z.B. die Themen 'Nanotechnologie', 'Antimikrobielle Resistenzen' und physikalische Gefahren wie Schall und elektromagnetische Felder. Die Liste der aktuellen Mitglieder von SCENIHR mit ihren Lebensläufen und Interessenerklärungen kann im Internet eingesehen werden (www/SCENIHR).

In einer Stellungnahme aus dem Jahr 2007 fasst SCENIHR seine Interpretation des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes zu Gesundheitsrisiken im Zusammenhang mit Expositionen gegenüber extrem niederfrequenten (ELF) Feldern wie folgt zusammen:
"Die frühere Schlussfolgerung, dass ELF Magnetfelder möglicherweise karzinogen sind, hauptsächlich gestützt auf das Auftreten von Leukämie bei Kindern, ist weiterhin gültig. Für Brustkrebs und kardiovaskuläre Erkrankungen deutet die jüngste Forschung darauf hin, dass ein Zusammenhang unwahrscheinlich ist. Für neurodegenerative Erkrankungen und Gehirntumoren bleibt die Verbindung zu ELF-Feldern unsicher. Es wurde kein konsistenter Zusammenhang zwischen ELF-Feldern und selbstberichteten Symptomen (manchmal elektrische Hypersensitivität genannt) gezeigt." (SCENIHR 2007: 4)

5.1.4 Strahlenschutzkommission (SSK)

Die Strahlenschutzkommission (SSK) berät das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) in allen Angelegenheiten des Schutzes vor ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung. Die Mitglieder der Kommission werden durch den Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit berufen. Die SSK ist aber nicht an Weisungen des BMU gebunden. Die Mitgliedschaft in der Strahlenschutzkommission ist ein persönliches Ehrenamt. Die Ergebnisse der Beratungen der SSK werden in Jahresberichten und Stellungnahmen bzw. Empfehlungen zu bestimmten Themen veröffentlicht. Von den sieben Ausschüssen der SSK befasst sich einer mit dem Thema 'Nichtionisierende Strahlung'.

Die SSK hat im Jahr 2008 eine Einschätzung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes zu biologischen Wirkungen und möglichen gesundheitlichen Risiken im Zusammenhang mit Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern veröffent-

licht (SSK 2008). Darin verweist sie auf ihr Fazit in der Stellungnahme aus dem Jahr 2001, "… dass bezüglich der Exposition gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern lediglich in der Frage der kindlichen Leukämie und bei neurodegenerativen Erkrankungen ein wissenschaftlich begründeter Verdacht auf eine mögliche Beeinflussung durch Magnetfeldexpositionen besteht." (SSK 2008: 16) Dieser Verdacht würde sich allerdings primär auf Ergebnisse epidemiologischer Studien stützen. In der Zwischenzeit seien weitere epidemiologische Studien veröffentlicht worden, der Verdacht sei nicht entkräftet worden und bestehe daher weiter.

Die SSK hat für ihre Empfehlungen aus dem Jahr 2008 229 Laborstudien ausgewertet. Diese wurden an ganz unterschiedlichen biologischen Systemen und für ein breites Spektrum an Endpunkten (Krebs, Karzinogenität, Genotoxizität, endokrines System, Reproduktion, Opioide, Analgesie, Physiologie, kardiovaskuläres System, Blutparameter, Immunsystem, Verhalten, Wahrnehmung, Nervensystem) durchgeführt. Die SSK hat die Befunde in einem Diagramm mit den Achsen 'Dauer der Exposition' und 'Stärke des Feldes' aufgetragen (s. Abb. 5.1) Insgesamt kommt die SSK zu dem Schluss, dass sich weder hinsichtlich der Expositionsstärke noch bezüglich der Expositionsdauer klare Einsatzschwellen eines Effektes erkennen lassen (SSK 2008: 17f). Es gibt aus Sicht der SSK bei vergleichbaren Expositionsbedingungen sowohl Berichte über gefundene Effekte als auch Arbeiten, bei denen keine gefunden wurden. Dies könne verschiedene Ursachen haben, die z.B. mit dem Untersuchungsdesign, dem verwendeten Untersuchungsobjekt oder stochastischen Einflüssen zusammenhängen könnten. Für die SSK zeigt sich daher, "… dass die Ergebnisse sehr widersprüchlich sind und hinsichtlich eines Nachweises von Wirkungen bei Expositionen unterhalb der Grenzwerte nicht belastbar sind."(ibid)

Der Frage nach dem Krebsrisiko ist die SSK noch einmal gesondert in einer vergleichenden Bewertung der Evidenz von Krebsrisiken durch elektromagnetische Felder und Strahlungen nachgegangen (SSK 2011). Die SSK hat dazu eine Einschätzung der wissenschaftlichen Evidenzen anhand von vier Evidenz-Kategorien für einen Zusammenhang zwischen der Einwirkung eines Feldes oder einer Strahlung (E3, E2, E1 und EN) und einem erhöhten Krebsrisiko sowie von drei Kategorien für nicht zu beurteilende Evidenzen (D2, D1 und D0) vorgenommen. Die Kategorien werden wie folgt definiert (SSK 2011: 4f):
Überzeugende Evidenz (E3): Sie ist gegeben, wenn eine ausreichende Anzahl der vorliegenden Studien konsistent einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Exposition und Karzinogenität zeigt. Die Studien müssen dabei von ausreichender Größe sein, ausreichend viele Endpunkte umfassen und mit ausreichender methodischer Qualität durchgeführt worden sein. Ferner müssen die Ergebnisse von unabhängigen Gruppen reproduziert worden sein. Confounding und Bias müssen mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden können, und die Ergebnisse müssen durch das bestehende Grundlagenwissen überzeugend gestützt werden.
Unvollständige Evidenz (E2): Sie ist gegeben, wenn nur eine begrenzte Anzahl von Studien vorliegt, die jedoch überwiegend einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Exposition und Karzinogenität zeigen. Die Studien können dabei von begrenzter Größe sein, unzureichend viele Endpunkte umfassen, müssen aber mit ausreichender methodischer Qualität durchgeführt worden sein. Ferner müssen die Ergebnisse von unabhängigen Grup-

pen wenigstens teilweise reproduziert worden sein. Confounding und Bias sollten gering sein. Es muss möglich sein, die Ergebnisse durch das bestehende Grundlagenwissen zu erklären.

Schwache Evidenz (E1): Sie ist gegeben, wenn eine unzureichende Anzahl von Studien vorliegt. Die Anzahl der untersuchten Endpunkte ist unzureichend, und die methodische Qualität sowie die Größe der Studien sind häufig begrenzt. Die Ergebnisse wurden von unabhängigen Gruppen kaum reproduziert und zeigen überwiegend keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Exposition und Karzinogenität. Bias und Confounding können nicht ausgeschlossen werden. Ein kausaler Zusammenhang beruht nicht auf belegten Mechanismen, er muss aber durch Hypothesen erklärt werden können, die zum bestehenden Grundlagenwissen nicht im Widerspruch stehen dürfen.

Keine bzw. unzureichende Evidenz (E0) für das Vorhandensein bzw. Nicht-Vorhandensein eines Zusammenhanges: Sie ist gegeben, wenn nur eine begrenzte Anzahl von Studien vorliegt, die überwiegend keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Exposition und Karzinogenität zeigen. Die Studien können dabei von begrenzter Größe sein, unzureichend viele Endpunkte umfassen, müssen aber mit ausreichender methodischer Qualität durchgeführt worden sein. Ferner müssen die Ergebnisse von unabhängigen Gruppen wenigstens teilweise reproduziert worden sein. Confounding und Bias sollten gering sein. Es muss möglich sein, die Ergebnisse durch das bestehende Grundlagenwissen zu erklären.

Evidenz für das Nicht-Vorhandensein (EN) eines Zusammenhanges: Sie ist gegeben, wenn eine ausreichende Anzahl der vorliegenden Studien konsistent keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Exposition und Karzinogenität zeigt. Die Studien müssen dabei von ausreichender Größe sein, ausreichend viele Endpunkte umfassen und mit ausreichender methodischer Qualität durchgeführt worden sein. Ferner müssen die Ergebnisse von unabhängigen Gruppen reproduziert worden sein. Confounding und Bias müssen mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden können, und die Ergebnisse müssen durch das bestehende Grundlagenwissen überzeugend gestützt werden.

Widersprüchliche Datenlage (D2): Sie ergibt sich, wenn Studien mit widersprüchlichen Ergebnissen bezüglich eines Zusammenhanges zwischen Exposition und Karzinogenität vorliegen, die von unabhängigen Gruppen nicht reproduziert wurden und bei denen Bias und Confounding nicht ausgeschlossen werden können.

Unzureichende Datenlage (D1): Sie folgt aus vorliegenden Studien unzureichender Größe, mit unzureichender methodischer Qualität, mit einer unzureichenden Anzahl von Endpunkten und wahrscheinlichem Bias und Confounding.

Fehlende Daten (D0): Es liegen keine oder eine unzureichende Zahl von Studien vor.

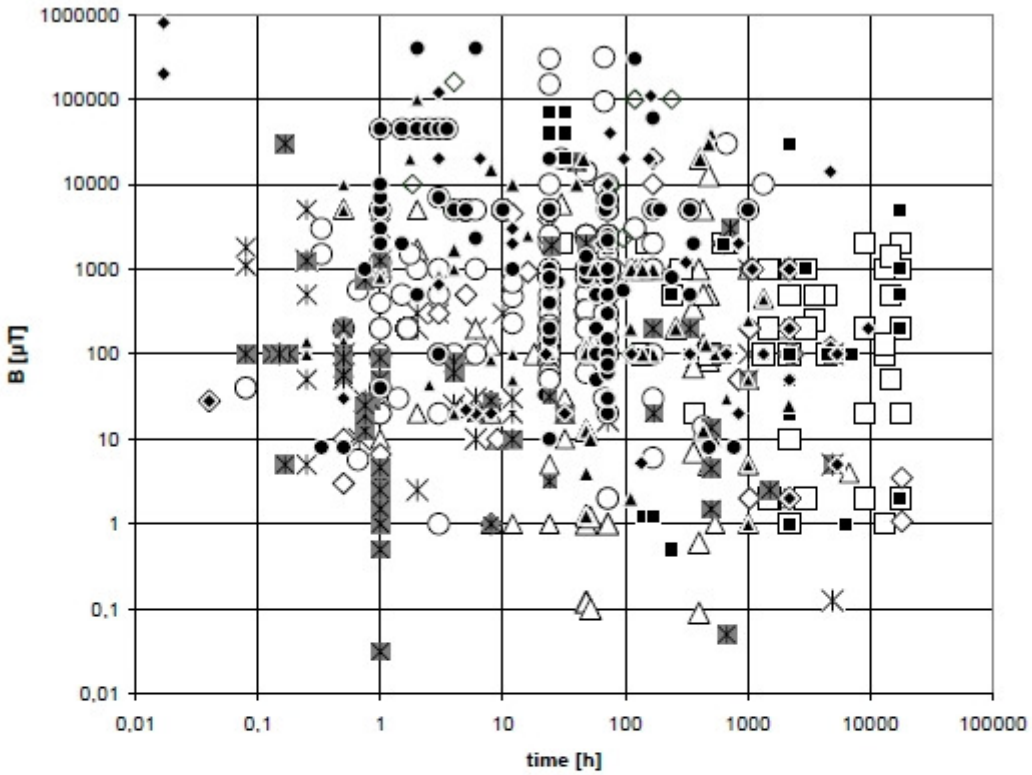

Abb. 2: Zusammenfassung von in 229 Laborstudien über biologische Wirkungen berichteten 720 Einzelergebnissen [28]. Die Exposition für Wahrnehmung und Effekte des Nervensystems wurde mit dem Verhältnis der Querschnittsfläche der Versuchstiere zu jener des Menschen umgerechnet. Es wurden alle Studien herangezogen, die der Bewertung der ICNIRP 2003 [10] und/oder der WHO 2007 [11] zugrunde liegen. Um die Vielzahl der Einzelergebnisse mit einer begrenzten Anzahl von Symbolen darstellen zu können, wurden die untersuchten biologischen Endpunkte gruppiert dargestellt (leere Symbole ... kein Effekt, volle Symbole ... Effekt festgestellt).

□ ... Krebs, Karzinogenität,
○ ... Genotoxizität
△ ... endokrines System, Reproduktion, Opioide und Analgesie
◇... Physiologie, kardiovaskuläres System, Blutparameter, Immunsystem
✳ ...Verhalten, Wahrnehmung, Nervensystem

Abbildung 5.1
Originaldarstellung im Bericht der SSK (2008: 17)

Das Ergebnis der Bewertungen durch die SSK ist in Abbildung 5.2 wiedergegeben. Für die von Stromversorgungsanlagen verursachten elektrischen und magnetischen Immissionen bei den Frequenzen 0 Hz und 50 Hz kommt die SSK zu dem folgenden Schluss (SSK 2011: 8):

"Trotz für sich genommen unvollständiger Evidenz aus epidemiologischen Studien (E2) kann für magnetische Wechselfelder die Evidenz für einen Zusammenhang mit Leukämie im Kindesalter in Übereinstimmung mit der Klassifizierung nach IARC nur als schwach (E1) eingestuft werden. Keine Evidenz für einen Zusammenhang konnte bei elektrischen Wechselfeldern und statischen Magnetfeldern gefunden werden. Bei elektrostatischen Feldern ergibt

die Bewertung sogar Evidenz für das Nicht-Vorhandensein eines Zusammenhanges zwischen Exposition und Krebserkrankungen."

Frequenzbereich	Beispiele für EMF-Anwendungen	Evidenz für fehlenden Zusammenhang	Nicht beurteilbare Evidenz			Evidenz für Zusammenhang			
			fehlendeDaten	unzureichende Daten	widersprüchl. Daten	unzureichende Evidenz	schwache Evidenz	unvollständige Evidenz	überzeugende Evidenz
		EN	D0	D1	D2	E0	E1	E2	E3
ionisierende Strahlung	Röntgendiagnositik								X
UV	Solarien								X
sichtbares Licht	Leuchtreklame, Leuchtstoffröhren						X[1]		
	Glühlampen		X[2]						
Infrarot	IR-Saunen			X					
Terahertz	Body-Scanner		X						
Mikrowelle	Mobilfunk					X			
HF-EMF	Rundfunk					X			
NF-MF	Hochspannungsleitung, Elektrogeräte						X[3]		
						X[4]			
NF-EF	Hochspannungsleitung					X			
MF statisch	Magnetverschlüsse					X[5]			
	Magnetresonanz-tomographie			X[6]					
EF statisch	elektrostat. Aufladung	X							

E3: überzeugende Evidenz
E2: unvollständige Evidenz
E1: schwache Evidenz
E0: keine bzw. unzureichende Evidenz für Zusammenhang
EN: Evidenz für Nicht-Zusammenhang
D2: widersprüchliche Daten
D1: unzureichende Daten

[1] *bezieht sich auf Blaulicht und auf allgemeine Lichtexposition während der Nacht*
[2] *bezieht sich auf sonstige Lichtexpositionen*
[3] *bezieht sich auf Leukämie im Kindesalter*
[4] *bezieht sich auf sonstige Krebserkrankungen von Kindern und Erwachsenen*
[5] *bezieht sich auf statische Umgebungsfelder*
[6] *bezieht sich auf Expositionen für Patienten und Personal durch Magnetresonanztomographen*

Abbildung 5.2
Klassifizierung der Evidenz für den Endpunkt Krebserkrankung für verschiedene Frequenzbereiche elektromagnetischer Felder für typische Expositionen der Allgemeinbevölkerung und beruflich exponierter Personen durch die Strahlenschutzkommission (Quelle: SSK 2011: 9)

<u>Kommentar</u>

Von Mitgliedern der SSK wird immer wieder betont, dass diese unabhängige Bewertungen durchführe. Tatsächlich schließt sie sich weitgehend den Bewertungen durch ICNIRP und WHO an. Von der SSK wurden von den experimentellen Studien denn auch nur die 229 betrachtet, die zuvor schon von ICNIRP und WHO in ihre Bewertungen einbezogen wurden. In der Darstellung der SSK (s. Abb. 5.1) sind tatsächlich keine Schwellen zu erkennen, weder im Hinblick auf die Stärke noch auf die Dauer der Exposition. Bei dieser Art der Darstellung, die unterschiedlichste Effekte umfasst, die mit ganz verschiedenen Methoden und unter vielfältigen Expositionsbedingungen untersucht wurden, ist das aber auch nicht zu erwarten. Die SSK weist selbst auf einige Faktoren hin, die zu Inkonsistenzen in den Ergebnissen führen können, ohne diese jedoch im Einzelnen und für jede Untersuchung zu analysieren. Eine Schlussfolgerung, wie sie von der SSK gezogen wird, dass die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen 'widersprüchlich' sind, wäre nur möglich, wenn identische oder zumindest ähnliche Experimente zu unterschiedlichen Ergebnissen geführt hätten. Dass differenziertere Auswertungen durchaus zu weitgehend konsistenten Befunden führen können, wurde bereits am Beispiel der synergistischen, in dem Fall kanzerogenen, Wirkungen niederfrequenter Magnetfelder mit anderen Noxen, gezeigt (s. 4.3).

Die SSK benutzt zur Klassifizierung der wissenschaftlichen Evidenz für Krebsrisiken durch elektromagnetische Felder und Strahlungen ein eigenes Klassifizierungsschema, statt das der Internationalen Agentur für Krebsforschung zu übernehmen. Das SSK-Schema ist aber weder von der Definition der Bewertungskategorien her überzeugender noch besser in der Öffentlichkeit zu kommunizieren. Die Gesamtbewertung für das Krebsrisiko im Zusammenhang mit den Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern durch die SSK ist, wie Beobachtungen bei Bürgerversammlungen (s. 5.6) zeigen, schwer zu vermitteln: Aufgrund der epidemiologischen Befunde (Leukämierisiko bei exponierten Kindern) erfolgt eine Einordnung in die zweithöchste Kategorie E2 ('unvollständige Evidenz'), insgesamt jedoch nur eine Einordnung in die Kategorie E1 ('schwache Evidenz'). Dies wird mit dem Fehlen von entsprechenden Ergebnissen aus experimentellen Untersuchungen und eines plausiblen Wirkungsmodells begründet. Zumindest der zweite Grund ist problematisch, da die Bewertung weitgehend konsistenter Untersuchungsbefunde vom Vermögen oder Unvermögen der Wissenschaft abhängig gemacht wird, deren Zustandekommen zu erklären. Dass eine allgemein akzeptierte Erklärung bisher nicht möglich ist, kann auch darauf zurückgeführt werden, dass koordinierte Forschungsanstrengungen hierzu lange Zeit fehlten und erst in jüngster Zeit angelaufen sind (s. www/BfS).

5.1.5 BioInitiative Working Group

Die BioInitiative Working Group ist ein informeller Zusammenschluss von 29 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus zehn Ländern (s. Kasten 5.2, s.a. www/BioInit). Sie haben 2007 und 2012 Berichte vorgelegt, in denen sie den wissenschaftlichen Erkenntnisstand zu den Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder zusammenfassen, ihn im Hinblick auf die wissenschaftliche Evidenz für einen Zusammenhang zwischen Expositionen und Gesundheitsrisiken bewerten und Empfehlungen für Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen geben (BioInitiave Working Group 2012, mit Passagen aus dem Bericht des Jahres 2007; s.a. 6.4.1). In Bezug auf extrem niederfrequente Felder (von der BioInitiative Working Group und in diesem Abschnitt abgekürzt: ELF) hebt die BioInitiative Working Group in ihrer Zusammenfassung der wissenschaftlichen Erkenntnisse für die Öffentlichkeit die folgenden Aussagen hervor (BioInitiative Working Group 2012: 8ff):

- "Es gibt nur geringen Zweifel, dass ELF Leukämie bei Kindern verursachen."
- "Es gibt einige Hinweise, dass andere Krebserkrankungen bei Kindern mit ELF-Expositionen in Beziehung stehen, aber hierzu gibt es noch nicht genug Studien."
- "Kinder, die an Leukämie erkrankt sind und sich in der Genesungsphase befinden, haben geringere Überlebenschancen, wenn ihre Exposition zu Hause (oder wo sie sich sonst zur Erholung befinden) nach einer Studie zwischen 1 mG und 2 mG oder nach einer anderen Studie mehr als 3 mG (Anmerkung der Verfasser: 0,1, 0,2 bzw. 0,3 µT) beträgt."
- "Die Hinweise aus Untersuchungen an Frauen am Arbeitsplatz deuten ziemlich stark darauf hin, dass ELF einen Risikofaktor für Brustkrebs bei Frauen mit Langzeit-Expositionen von 10 mG (1 µT) und mehr darstellen."
- "Untersuchungen an menschlichen Brustkrebszellen und einige Tierexperimente zeigen, dass ELF wahrscheinlich ein Risikofaktor für Brustkrebs sind. Es gibt unterstützende Be-

lege für einen Zusammenhang zwischen Brustkrebs und ELF Exposition aus Zell- und Tier-Studien ebenso aus Studien zum Brustkrebs beim Menschen."

- "Die Alzheimer Krankheit ist eine Erkrankung des Nervensystems. Es gibt starke Belege, dass eine Langzeit-Exposition gegenüber ELF einen Risikofaktor für die Alzheimer Krankheit darstellt."
- "Die Folgen einer verlängerten Exposition von Kindern, deren Nervensystem sich bis zur Adoleszenz in der Entwicklung befindet, ist zur Zeit nicht bekannt. Es könnte ernste Auswirkungen auf die Gesundheit von Erwachsenen und ihr Funktionieren in der Gesellschaft haben, wenn die Exposition in der Jugend sowohl gegenüber ELF als auch gegenüber RF (Anmerkung der Verfasser: Hochfrequenz) zu einer verminderten Leistungsfähigkeit bei Denken, Urteilsvermögen, Gedächtnis, Lernen und Kontrolle über das Verhalten führt."
- "Sowohl ELF als auch RF können unter bestimmten Expositionsbedingungen als gentoxisch (zerstören DNA) angesehen werden, dazu gehören Expositionen unterhalb der existierenden Grenzwerte."
- "Sehr geringe ELF- und RF-Expositionen können Zellen dazu veranlassen, Stressproteine zu produzieren, das heißt, dass die Zellen ELF- und RF-Expositionen als schädlich erkennen."
- "Es gibt substantielle Hinweise, dass ELF und RF, die nach den derzeitigen Grenzwerten zulässig sind, Entzündungsreaktionen und Allergien verursachen und normale Immunfunktionen verändern können."
- "Oxidativer Stress durch die Wirkung freier Radikale auf die DNA ist ein plausibler Mechanismus für Krebs und Krankheiten, die mit Schädigungen des zentralen Nervensystems durch ELF verbunden sind."

Kasten 5.2

Mitglieder der BioInitiative Working Group

Jitendra Behari, PhD, Indien
Paulraj Rajamani, PhD, Inden
Carlo V. Bellieni, MD, Italien
Igor Belyaev, Dr.Sc., Slowakei
Carl F. Blackman, PhD, USA
Martin Blank, PhD, USA
Michael Carlberg, MSc, Schweden
David O Carpenter, MD, USA
Zoreh Davanipour, DVM, PhD USA
Adamantia F. Fragopoulou, PhD, Griechenland
David Gee, Dänemark
Yuri Grigoriev, MD, Russland
Kjell Hansson Mild, PhD, Schweden
Lennart Hardell, MD, PhD, Schweden
Martha Herbert, PhD, MD, USA
Paul Héroux, PhD, Kanada
Michael Kundi, PhD, Österreich
Henry Lai, PhD, USA
Ying Li, PhD, Kanada
Abraham R. Liboff, PhD, USA
Lukas H. Margaritis, PhD, Griechenland

Henrietta Nittby, MD, PhD, Schweden
Gerd Oberfeld, MD, Österreich
Bertil R. Persson, PhD, MD, Schweden
Iole Pinto, PhD, Italien
Cindy Sage, MA, USA
Leif Salford, MD, PhD, Schweden
Eugene Sobel, PhD, USA
Amy Thomsen, MPH, MSPAS, USA

Kommentar

Die BioInitiative Working Group setzt sich sehr kritisch mit den derzeit geltenden Grenzwerten und insbesondere mit den Empfehlungen der ICNIRP (s. 5.1.2) auseinander. Sie stellt den Vorsorgegedanken in den Mittelpunkt ihrer Überlegungen. Da sich in der BioInitiatve Working Group zwar zahlreiche namhafte aber nicht dem wissenschaftlichen Mainstream angehörende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zusammengefunden haben, werden insbesondere die Schlussfolgerungen aus den wissenschaftlichen Analysen vielfach abgelehnt. Für die öffentliche Diskussion wäre es sicher hilfreich, wenn sich die BioInitiative Working Group bei der Bewertung der wissenschaftlichen Evidenz eines etablierten Klassifizierungsschemas, wie dem der IARC (s. 5.1.1), bedienen und abweichende Einschätzungen begründen würde.

5.1.6 Stakeholder Advisory Group on ELF EMFs (SAGE)

Die Stakeholder Advisory Group on ELF EMFs (SAGE) ist keine wissenschaftliche Kommission im eigentlichen Sinne, sondern ein im Jahr 2004 in Großbritannien eingerichtetes Gremium, in dem Fachleute und Interessenvertreterinnen und -vertreter über die Notwendigkeit und die Folgen eines Vorsorge-orientierten Umgangs mit extrem niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern (ELF EMF) beraten und praktische Vorschläge für Vorsorgemaßnahmen machen (SAGE 2010: 9). In dem von der Regierung unabhängigen Beratungsgremium sind neben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern Vertreterinnen und Vertreter der Industrie, von Ministerien, Überwachungsbehörden, beratenden Einrichtungen, Berufsverbänden, lokalen und nationalen Kampagnengruppen (Bürgerinitiativen) sowie Einzelpersonen vertreten. Der Hauptarbeitsgruppe gehören 40 Personen an.

Die SAGE fasst die wissenschaftlichen Grundlagen ihrer Arbeit wie folgt zusammen (SAGE 2010: 10):
"Historisch betrafen die frühen Hinweise Krebs bei Kindern und insbesondere kindliche Leukämien. Andere gesundheitliche Auswirkungen, für die es mit unterschiedlichem Grad von Sicherheit vermutete Zusammenhänge mit ELF EMF gibt, sind (in alphabetischer Reihenfolge; Anmerkung der Verfasser: der englischen Bezeichnungen): Leukämie bei Erwachsenen, Krebs des Gehirns bei Erwachsenen, Alzheimer Krankheit, Amyotrophe Lateralsklerose (ALS, die häufigste Erkrankung des motorischen Nervensystems), Brustkrebs, andere Krebserkrankungen bei Kindern, Depressionen, Symptome elektrischer Empfindlichkeit, bestimmte Formen von Herzerkrankungen, Fehlgeburten und Selbstmorde."

Diese Darstellung ist ein Kompromiss zwischen den SAGE-Mitgliedern, die der Interpretation der WHO und der britischen Health Protection Agency zuneigen, wonach es ernst zu nehmende wissenschaftliche Hinweise allenfalls für einen Zusammenhang zwischen Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern und dem Risiko für Leukämie-Erkrankungen bei Kindern gibt, und denen, die sich die Bewertung des California Department of Health Services zu eigen machen und neben Leukämie bei Kindern, Leukämie bei Erwachsenen, Gehirntumoren bei Erwachsenen, Fehlgeburten und ALS in die IARC-Kategorie 'Möglich' (s. 5.1.1) einordnen (SAGE 2007: 13, 15).

Kommentar

Einrichtung, Zusammensetzung und Art der Arbeit der SAGE könnten als Vorbild für einen transparenten, strukturierten gesellschaftlichen Diskurs über Risiken und angemessene Vorsorgemaßnahmen im Zusammenhang mit Expositionen gegenüber den von Anlagen zum Transport elektrischer Energie erzeugten niederfrequenten Feldern dienen.

5.2 Internationale und nationale Organisationen, politische Institutionen und Behörden

5.2.1 Weltgesundheitsorganisation (WHO)

Die 1948 gegründete Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization, WHO) hat das Ziel, für alle Völker das höchstmögliche Gesundheitsniveau zu erreichen. Sie ist ein wichtiger Akteur in globalen Gesundheitsfragen, bei der Initiierung und Durchführung von Forschungsprogrammen zu Gesundheit und beim Aufstellen von Normen und Standards. Die WHO bietet ihren 194 Mitgliedstaaten fachliche Unterstützung, sie überwacht und bewertet gesundheitliche Entwicklungen, sie unterstützt medizinische Forschung und leistet Soforthilfe bei Katastrophen.

Im Jahr 1973 startete die WHO ihr Environmental Health Criteria Programme mit den Zielen:

- Informationen zum Zusammenhang zwischen Expositionen gegenüber Umweltschadstoffen und menschlicher Gesundheit zu bewerten und Richtlinien zur Festlegung von Expositionsgrenzwerten bereitzustellen,
- neue oder potentielle Schadstoffe zu identifizieren,
- Lücken im Wissen zu den Gesundheitseffekten von Schadstoffen aufzuzeigen und
- die toxikologischen und epidemiologischen Methoden zu harmonisieren, um international vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Die WHO-Bewertung von Gesundheitsrisiken durch nicht-ionisierende Strahlung fällt in die Zuständigkeit des Internationalen EMF-Projekts, das die WHO im Jahr 1996 startete. Es wird durch Radiation and Environmental Health Unit (RAD) organisiert.

Der Stand der Forschung und die Empfehlungen der WHO im Zusammenhang niederfrequenten Feldern werden einer Environmental Health Criteria (EHC) Monographie dargestellt (WHO 2007) und wie folgt zusammengefasst:
Akute Effekte
"Es wurden akute biologische Wirkungen für Expositionen gegenüber ELF (Anmerkung der Verfasser: extrem niederfrequente) elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich bis 100 kHz nachgewiesen, die nachteilige Auswirkungen auf die Gesundheit haben können. Deshalb sind Expositionsgrenzwerte notwendig. Es gibt internationale Richtlinien (Anmerkung der Verfasser: Grenzwertvorschläge der ICNIRP) zu dieser Frage. Die Einhaltung dieser Richtlinien bietet adäquaten Schutz vor akuten Effekten." (WHO 2007: 11)
Chronische Effekte
"Die wissenschaftliche Evidenz dafür, dass tägliche chronische Exposition gegenüber netzfrequenten Magnetfeldern geringer Intensität (über 0,3 – 0,4 µT) ein Gesundheitsrisiko darstellt, beruht auf epidemiologischen Studien, die ein konsistentes Muster erhöhter Risiken für Leukämie in der Kindheit zeigen. Zu den Unsicherheiten in der Gefahrenbewertung gehört die Rolle, die Bias bei der Auswahl von Kontrollen und Missklassifikationen der Expositionen bei den beobachteten Zusammenhängen zwischen Magnetfeldern und Leukämie im Kindesalter spielen könnten. Zudem kommt von nahezu allen Belegen aus Laboruntersuchungen und denen zu Mechanismen keine Unterstützung für einen Zusammenhang zwischen Expositionen gegenüber ELF-Magnetfeldern geringer Intensität und Veränderungen biologischer Funktionen oder des Krankheitszustandes. Daher ist in der Gesamtbilanz die Evidenz nicht groß genug, um als kausal angesehen zu werden, aber ausreichend stark für Besorgnis." (WHO 2007: 11f)
"Es wurden auch andere Krankheiten auf einen möglichen Zusammenhang mit ELF-Magnetfeld-Expositionen untersucht. Dazu gehören Krebs sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen, Depressionen, Selbstmord, Fortpflanzungsstörungen, Störungen der Entwicklung, immunologische Veränderungen und neurologische Erkrankungen. Die wissenschaftliche Evidenz für einen Zusammenhang mit ELF-Magnetfeldern ist für alle diese Krankheiten sehr viel geringer als für Leukämie im Kindesalter und in einigen Fällen (z.B. kardiovaskuläre Erkrankungen oder Brustkrebs) ist die Evidenz ausreichend, um davon ausgehen zu können, dass diese Krankheiten nicht durch Magnetfelder verursacht werden." (WHO 2007: 12)

Kommentar

Die WHO hat stark auf Berichte der IARC aus den Jahr 2001, der ICNIRP aus dem Jahr 2003 und der Advisory Group on Non-Ionising Radiation (AGNIR) der britischen Health Protection Agency (HPA) aus den Jahren 2001, 2004 und 2006 zurückgegriffen bzw. sogar Kapitel oder Passagen weitgehend aus diesen Berichten übernommen (WHO 2007: xii). Die Bewertungen stimmen daher auch weitgehend mit denen durch die ICNIRP überein.

5.2.2 Europäischer Rat und Europäische Kommission

Im Jahr 1999 hat der Europäische Rat die Empfehlung 1999/519/EC zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich zwischen 0 Hz und 300 GHz verabschiedet. Diese Empfehlung

beruht auf Artikel 152 (1) des Europäischen Vertrages, in dem sich die EU verpflichtet, ein hohes Niveau des Gesundheitsschutzes bei der Festlegung und Implementierung aller Aktivitäten und Politiken der Gemeinschaft sicherzustellen (EU-Kommission 2008: 2). Das übergeordnete Ziel der Empfehlung ist es, einen Rahmen für die Begrenzung der Expositionen auf Grundlage besten wissenschaftlichen Wissens und eine Basis für das Monitoring der Situation zu schaffen. Die Empfehlung war auch gedacht als Referenzrahmen für die EU-Gesetzgebung im Bereich der Produkte und Anlagen, die elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder emittieren. In der Empfehlung wird klargestellt, dass die EU die Nationalstaaten nur unterstützt. Diese seien für den Schutz ihrer Bevölkerung verantwortlich und könnten strengere Grenzwerte festlegen als die in der Empfehlung genannten (EU-Kommission 2008: 3).

Als wissenschaftliche Grundlage für die Festlegung der Grenzwerte wird in der Empfehlung explizit auf die ICNIRP-Guidelines (s. 5.1.2) Bezug genommen. Diese seien im Juni 1998 vom wissenschaftlichen Steuerungskomitee (Scientific Steering Committee), im Oktober 2001 vom Wissenschaftlichen Komitee zu Toxizität, Ökotoxizität und Umwelt (Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment) sowie im März 2007 von Wissenschaftlichen Komitee zu aufkommenden und neu erkannten Gesundheitsrisiken (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR; s. 5.1.3) bestätigt worden (EU-Kommission 2008: 3).

In den Jahren 2002 und 2008 wurden von der Europäischen Kommission jeweils Berichte zur Umsetzung der Empfehlung vorgelegt.

In der Diskussion über die Angemessenheit von Vorschriften und Maßnahmen zum Schutz vor elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern gewinnt der Vorsorgegedanke zunehmend an Bedeutung. Die Kommission der Europäischen Gemeinschaften hat bereits im Jahr 2000 eine Mitteilung zur Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips verabschiedet (EU-Kommission 2000). Grundlage für die Anwendung des Vorsorgeprinzips sind die einschlägigen Bestimmungen des Vertrages von Maastricht aus dem Jahr 1992, die in den im Jahr 1997 beschlossenen und unterzeichneten Vertrag von Amsterdam übernommen wurden. Dort heißt es im Artikel 174:
"(2) Die Umweltpolitik der Gemeinschaft zielt unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Gegebenheiten in den einzelnen Regionen der Gemeinschaft auf ein hohes Schutzniveau ab. Sie beruht auf den Grundsätzen der Vorsorge und Vorbeugung, auf dem Grundsatz, Umweltbeeinträchtigungen mit Vorrang an ihrem Ursprung zu bekämpfen, sowie auf dem Verursacherprinzip ….
(3) Bei der Erarbeitung ihrer Umweltpolitik berücksichtigt die Gemeinschaft

- die verfügbaren wissenschaftlichen und technischen Daten ...
- die Vorteile und die Belastung aufgrund des Tätigwerdens bzw. Nichttätigwerdens."

In einer Entschließung des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 13. April 1999 war die Kommission aufgefordert worden, "sich künftig bei der Ausarbeitung von Vorschlägen für Rechtsakte und bei ihren anderen verbraucherbezogenen Tätigkeiten noch entschiedener

vom Vorsorgeprinzip leiten zu lassen und vorrangig klare und effiziente Leitlinien für die Anwendung dieses Prinzips zu entwickeln."

Das Vorsorgeprinzip wird im Vertrag von Amsterdam nur im Zusammenhang mit dem Umweltbereich ausdrücklich erwähnt, die EU-Kommission vertrat und vertritt aber die Auffassung, dass der Anwendungsbereich wesentlich weiter zu fassen ist: Das Vorsorgeprinzip ist in allen konkreten Fällen anzuwenden, in denen die wissenschaftlichen Beweise nicht ausreichen, keine eindeutigen Schlüsse zulassen oder unklar sind, in denen jedoch aufgrund einer vorläufigen und objektiven wissenschaftlichen Risikobewertung begründeter Anlass zur Besorgnis besteht, dass die möglicherweise gefährlichen Folgen für die Umwelt und die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen mit dem hohen Schutzniveau der Gemeinschaft unvereinbar sein könnten.

Ein Rückgriff auf das Vorsorgeprinzip ist der Mitteilung der Kommission zufolge nur im Fall eines potenziellen Risikos möglich. Ein potenzielles Risiko kann aber auch dann vorliegen, wenn dieses Risiko nicht voll nachweisbar ist, wenn nicht messbar ist, in welchem Umfang ein Risiko besteht oder wenn wegen unzureichender oder nicht eindeutiger wissenschaftlicher Daten nicht feststellbar ist, wie sich das Risiko auswirken kann.

Bevor auf das Vorsorgeprinzip zurückgegriffen werden kann, muss, den Vorgaben der EU-Kommission zufolge, eine Auswertung der risikobezogenen wissenschaftlichen Daten stattfinden. Eine umfassende Risikobewertung ist zwar nicht in allen Fällen möglich, doch sollte alles versucht werden, um die zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Informationen auszuwerten. Als mögliche Gründe für wissenschaftliche Unsicherheit kommen in Frage:

- die gewählten Untersuchungsvariablen,
- die Art der Messungen,
- die Art und Größe der gezogenen Stichproben,
- die verwendeten Modelle und
- der zugrundeliegende bzw. zugrundegelegte Kausalzusammenhang.

Eine wissenschaftliche Unsicherheit kann sich auch daraus ergeben, dass Uneinigkeit darüber besteht, wie die vorliegenden Daten zu deuten sind, oder dass einige wichtige Daten fehlen.

Die EU-Kommission hat in ihrer Mitteilung die Voraussetzungen für einen Rückgriff auf das Vorsorgeprinzip genannt:

- Die möglichen negativen Folgen eines Phänomens, eines Produkts oder eines Verfahrens wurden ermittelt.
- Eine wissenschaftliche Risikobewertung lässt wegen unzureichender, nicht eindeutiger oder ungenauer Daten keine hinreichend genaue Bestimmung des betreffenden Risikos zu.

In der Mitteilung der EU-Kommission wurden auch konkrete Leitlinien für die Anwendung des Vorsorgeprinzips formuliert:

1. Die Umsetzung eines auf dem Vorsorgeprinzip beruhenden Ansatzes sollte mit einer möglichst umfassenden wissenschaftlichen Risikobewertung beginnen; wenn möglich,

sollte in jedem Stadium dieser Bewertung das Ausmaß der wissenschaftlichen Unsicherheit ermittelt werden.

2. Die Entscheidungsträger sollten die möglichen Folgen eines Nichttätigwerdens bedenken und gegebenenfalls dementsprechend entscheiden. Die Entscheidung, zunächst neue wissenschaftliche Daten abzuwarten, bevor mögliche Maßnahmen erwogen werden, sollte mit einem Höchstmaß an Transparenz getroffen werden. Ein Nichttätigwerden sollte nicht mit dem Fehlen wissenschaftlicher Beweise für einen Kausalzusammenhang bzw. dem Nichtvorhandensein einer quantifizierbaren Dosis-Wirkungs-Relation oder einer quantitativen Bewertung der Wahrscheinlichkeit des Eintritts nachteiliger Wirkungen nach einer Exposition begründet werden. Selbst wenn nur eine Minderheit der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu Maßnahmen rät, muss dieser Minderheitenmeinung in angemessener Weise Rechnung getragen werden, sofern es sich um eine Minderheit handelt, deren Glaubwürdigkeit und guter Ruf anerkannt ist.
3. Eine Maßnahme zur Verringerung des Risikos darf sich nicht nur auf unmittelbare Risiken beschränken, bei denen die Beurteilung der Verhältnismäßigkeit viel einfacher ist. Zeigen sich negative Wirkungen erst lange nach der Gefährdung, so ist der Kausalzusammenhang wissenschaftlich am schwierigsten zu beweisen. Daher muss gerade in dieser Situation das Vorsorgeprinzip häufig angewendet werden. In diesem Fall sind die möglichen langfristigen Folgen bei der Beurteilung der Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen zu berücksichtigen, mit denen unverzüglich Vorkehrungen zur Verringerung oder Beseitigung eines Risikos getroffen werden sollen, dessen Wirkungen sich erst nach 10 oder 20 Jahren zeigen oder künftige Generationen betreffen werden.
4. Die Maßnahmen sollten im Verhältnis zum angestrebten Schutzniveau stehen.
5. Die Maßnahmen müssen diskriminierungsfrei anwendbar sein.
6. Die Maßnahmen sollten auf andere Maßnahmen abgestimmt sein, die in der Vergangenheit unter ähnlichen Umständen oder unter Zugrundelegung ähnlicher Ansätze getroffen wurden.
7. In Übereinstimmung mit der Rechtsprechung des Europäischen Gerichtshofs ist die Kommission der Auffassung, dass den Erfordernissen des Schutzes der öffentlichen Gesundheit unzweifelhaft größeres Gewicht beizumessen ist als wirtschaftlichen Erwägungen.
8. Bevor Maßnahmen getroffen werden, sind die mit einem Tätigwerden oder Nichttätigwerden verbundenen Vor- und Nachteile gegeneinander abzuwägen. Diese Abwägung sollte eine wirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse umfassen, sofern dies zweckmäßig und durchführbar ist. Auch andere Analysemethoden – z.B. zur Ermittlung der Wirksamkeit und der sozioökonomischen Auswirkungen der möglichen Optionen – kommen in Frage. Im Übrigen kann sich der Entscheidungsträger auch von anderen als wirtschaftlichen Erwägungen leiten lassen, z.B. vom Anliegen des Gesundheitsschutzes.
9. Solange die wissenschaftlichen Daten nicht ausreichen, ungenau sind und keine eindeutigen Schlüsse zulassen, das Risiko aber als so hoch eingestuft wird, dass es der Gesellschaft nicht zugemutet werden kann, sollten die Maßnahmen trotz ihres vorläufigen Charakters aufrecht erhalten werden.
   Wie lange sie aufrechtzuerhalten sind, hängt vom wissenschaftlichen Kenntnisstand ab, der auch für die Überprüfung der Maßnahmen maßgeblich ist. Das bedeutet, dass die wissenschaftlichen Forschungsarbeiten fortgesetzt werden müssen, damit man zu vollständigeren Daten gelangt.
   Auf dem Vorsorgeprinzip beruhende Maßnahmen sollten nach Maßgabe der wissen-

schaftlichen Forschungsergebnisse und der beobachteten Auswirkungen dieser Maßnahmen überprüft und gegebenenfalls abgeändert werden.

10. Auf das Vorsorgeprinzip gestützte Maßnahmen können eine Regelung enthalten, aus der sich ergibt, wer die für eine umfassende Risikobewertung erforderlichen wissenschaftlichen Beweise zu erbringen hat.

Kommentar

Es gibt durch epidemiologische Studien belegte Zusammenhänge zwischen den Expositionen gegenüber niederfrequenten magnetischen Feldern und vor allem dem Risiko für Leukämieerkrankungen bei Kindern und, in geringerem Umfang, für Demenzerkrankungen bei Erwachsenen. Von wissenschaftlichen Kommissionen, auf die sich die EU-Kommission stützt, wird bemängelt, dass die in epidemiologischen Studien festgestellten Zusammenhänge zwischen erhöhten Expositionen und chronischen Erkrankungen nicht durch experimentelle Untersuchungen gestützt werden und dass bisher kein biophysikalischer Primärmechanismus bekannt ist, der die Auslösung der Krankheit erklären könnte. Das heißt, es gibt deutliche wissenschaftliche Hinweise auf Gesundheitsrisiken durch niederfrequente magnetische Felder. Die Risiken sind aber wegen wissenschaftlicher Komplexität, Unsicherheit und Unwissenheit nicht voll nachweisbar und ihr Umfang kann nicht exakt angegeben werden. In solchen Situationen ist den Vorgaben der Europäischen Kommission zufolge das Vorsorgeprinzip anzuwenden. Hierfür lässt die EU-Kommission den Mitgliedsländern einen breiten Spielraum.

5.2.3 European Environmental Agency (EEA)

Die Europäische Umweltagentur (European Environmental Agency, EEA) ist eine Einrichtung der Europäischen Union, die seit dem Jahr 1994 tätig ist. Ihre Aufgaben bestehen in

- der Unterstützung der Gemeinschaft und der Mitgliedsländer, sodass sie fundierte Entscheidungen in Bezug auf die Verbesserung der Umwelt, die Einbeziehung von Umweltbelangen in die Wirtschaftspolitik und die Verwirklichung einer dauerhaften und umweltgerechten Entwicklung treffen können,
- der Koordination des Europäischen Umweltinformations- und Umweltbeobachtungsnetzes.

Hinsichtlich der Einschätzung der Risiken durch niederfrequente Felder beruft sich die EEA auf IARC (s. 5.1.1) und SCENIHR (s. 5.1.3). In ihrem aktuellen Bericht schreibt die EEA (2013a: 58):
"Im Falle extrem niederfrequenter Frequenzen (ELF) können karzinogene Effekte und ein möglicher Zusammenhang zwischen quasi-statischen Magnetfeldern und Leukämie im Kindesalter nicht ausgeschlossen werden (im Zusammenhang mit mittleren Expositionen gegenüber netzfrequenten Magnetfeldern über 0,3 bis 0,4 µT, wie in der IARC-Auswertung und dem Update festgestellt (IARC 2002, WHO 2007). In Abwesenheit eines kausalen Mechanismus können diese Ergebnisse jedoch durch Einschränkungen in den epidemiologischen Daten erklärt werden."

Die EEA mahnt immer wieder die konsequentere Anwendung des Vorsorgeprinzips an (s. z.B. EEA 2013b). Die von der EEA vorgelegte Arbeitsdefinition zum Vorsorgeprinzip entspricht weitgehend der der Europäischen Kommission (s. 5.2.2) (EEA 2013b: 681): "Das Vorsorgeprinzip bietet die Rechtfertigung für politisches und anderes Handeln in Situationen wissenschaftlicher Komplexität, Unsicherheit und Unwissenheit, wenn es eine Notwendigkeit zum Handeln geben könnte, um eine potentiell ernste oder irreversible Bedrohungen für die Gesundheit und/oder die Umwelt zu vermeiden oder zu vermindern, indem eine angemessene Stärke wissenschaftlicher Evidenz zugrundgelegt wird und alle Vor- und Nachteile des Handelns oder Nicht-Handelns berücksichtigt werden."

In dem Bericht der EEA sind viele Fallbeispiele aufgelistet, die zeigen, dass chronische Schäden für die Umwelt und die Gesundheit oft durch ein komplexes Zusammenspiel vieler Faktoren entstehen. In Bezug auf komplexe biologische und ökologische Systeme sind wissenschaftliche Unsicherheit und Unwissen die Regel und solche Systeme können viele wissenschaftliche 'Überraschungen' bergen. Chronische Krankheiten entwickeln sich über mehrere Stufen und die Entwicklung einer Krankheit kann auf allen diesen Stufen dem Einfluss vieler unabhängiger ko-kausaler Faktoren unterliegen, einschließlich solcher, die zufällig wirksam werden. Es erscheint daher in vielen Fällen kaum möglich, den Nachweis vollständiger Kausalketten zu führen. In dem Bericht der EEA wird das bekannte Beispiel des Tabakrauchs angeführt: Dieser enthält rund 4000 chemische Substanzen, von denen mehr als hundert als toxisch klassifiziert wurden. Der genaue physiologische Prozess der Krankheitsentwicklung, der bei einigen Rauchern zu Herzerkrankungen oder Krebs führt, bei anderen aber nicht, kann auch nach 40 Jahren Forschung noch immer nicht angegeben werden. Gleichwohl wurden aufgrund des statistischen Zusammenhangs zwischen Rauchen und vor allem Erkrankungen an Lungenkrebs Maßnahmen ergriffen, um das Ausmaß der Gesundheits- und der volkswirtschaftlichen Folgeschäden zu vermindern.

<u>Kommentar</u>

Die EEA bzw. von ihr eingebundene Autoren haben sich in EEA-Berichten (s. z.B. EEA 2001, 2013b) vor allem mit dem Mobilfunk auseinandergesetzt. Die Begriffswahl (z.B. 'quasi-statische') und die Formulierungen in der Einschätzung der Risiken durch niederfrequente Felder zeigen, dass diese von fachfremden Autoren verfasst wurden. Der Wert der genannten EEA-Arbeiten ist vor allem in der intensiven Auseinandersetzung mit dem Vorsorgeprinzip zu sehen.

5.2.4 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) ist federführend bei der Erarbeitung gesetzlicher Vorschriften zum Schutz der Bevölkerung vor elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern. Nach eigener Darstellung (www/BMU) erfolgt die Festlegung von Grenzwerten auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse. Dabei würden alle nach wissenschaftlichen Standards und Grundsätzen erhaltenen Ergebnisse aus Forschungsvorhaben einbezogen. Insbesondere würden die Aussagen und

Stellungnahmen anerkannter nationaler und internationaler wissenschaftlicher Gremien für die Entscheidungen rechtlicher Regelungen zugrunde gelegt. Hierzu zählt das BMU:

- die Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierenden Strahlen (ICNIRP; s. 5.1.2),
- die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK; s. 5.1.4) und
- die wissenschaftlichen Gremien der Weltgesundheitsorganisation (WHO), hier insbesondere die International Agency for Research on Cancer (IARC; s. 5.1.1).

5.2.5 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ist eine organisatorisch selbständige wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde, die dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) zugeordnet ist. Die Aufgabenfelder des BfS sind:

- der gesundheitliche, der umweltbezogene und der physikalisch-technische Strahlenschutz,
- der radiologische Notfallschutz,
- die kerntechnische Sicherheit,
- die staatliche Verwahrung von Kernbrennstoffen,
- die Entsorgung radioaktiver Abfälle sowie
- die Sicherheit der Beförderung und Aufbewahrung von Kernbrennstoffen.

Das Tätigkeitsfeld 'Wirkungen und Risiken ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung' ist im Fachbereich 'Strahlenschutz und Gesundheit' angesiedelt, einem von vier Fachbereichen.

In einer aktuellen Publikation beschreibt ein Autorenteam den Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse zu den gesundheitlichen Risiken durch die niederfrequenten Felder der Stromversorgung aus Sicht des BfS (Dehos et al. 2013). Bei den nachgewiesenen akuten Wirkungen niederfrequenter Felder verweist das Autorenteam explizit auf die Aus- und Bewertungen der ICNIRP (s. 5.1.2). Bezüglich möglicher gesundheitlicher Langzeitwirkungen sieht das BfS vor allem viele offene Fragen. Ausführlicher wird auf die Themen 'Leukämie im Kindesalter' und 'Neurodegenerative Erkrankungen' eingegangen. Der Stand der Forschung zu Leukämie bei Kindern im Zusammenhang mit Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern wird wie folgt bewertet:
"Insgesamt ergibt sich in den verschiedenen Studien jeweils ein relativ konstanter Wert, ab dem ein erhöhtes Risiko zu beobachten ist. Dieser Wert liegt bei etwa 0,3 - 0,4 µT (zeitlich gemittelt). Eine jüngere Analyse aller vorliegenden Daten zeigt allerdings, dass die beste Beschreibung der Daten eine Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwelle sein könnte, das heißt, dass es auch im Expositionsbereich unterhalb von 0,3 µT ein – wenn auch sehr kleines – Risiko geben könnte (Kheifets et al. 2011). Allerdings lassen die Daten keine abschließende Aussage zu. Insbesondere ist bisher nicht geklärt, welcher biophysikalische Mechanismus für die Auslösung von Leukämie bei Kindern durch niederfrequente Magnetfelder verantwortlich sein könnte."
Aufgrund der Stabilität der Ergebnisse aus epidemiologischen Studien hat das BfS eine mittel- bis langfristige Forschungsagenda zur Ätiologie von Leukämieerkrankungen bei Kindern entwickelt:

"Das BfS erachtet es als vordringlich, aufgrund des Fehlens einer Vorstellung darüber, welche biologischen Mechanismen bei der Entstehung von Leukämie bei Kindern beziehungsweise bei den Wirkungen verschiedener Umweltfaktoren eine Rolle spielen könnten, zunächst diese Mechanismen aufzuklären. Die Forschungsagenda umfasst folgende Punkte (Ziegelberger et al. 2011):

1) Biologische und genetisch-epidemiologische Untersuchungen an menschlichen Populationen mit dem Fokus auf der akuten lymphatischen Leukämie (ALL), da dies die häufigste Untergruppe bei an Leukämie erkrankten Kindern ist
   a. Vorkommen sogenannter 'First-hit'-Ereignisse
   - Häufigkeit der Vorläuferzellen für Leukämie bei neugeborenen Kindern
   - mögliche genetische Unterschiede in Bevölkerungen mit unterschiedlicher Erkrankungshäufigkeit (z. B. weiße [kaukasische] Bevölkerung gegenüber einer Bevölkerungsgruppe in Zentralafrika)
   b. genetische Sequenzierung an Zellen erkrankter Kinder
   - Charakterisierung genetischer Veränderungen im Genom unveränderter Zellen und der Leukämiezellen bei Fällen mit ALL
   c. Suche nach leukämie-spezifischen genetischen Veränderungen auch in anderen Zellen der Patienten
2) Tierversuche
   a. Entwicklung von Mausmodellen, die die Leukämie beim Menschen abbilden
   b. Untersuchungen an den Mausmodellen im Hinblick auf interne und externe Faktoren, die an der Entstehung der Leukämie-Erkrankung beteiligt sind.

Zum Stand der Forschung zu dem Risiko neurodegenerativer Erkrankungen bei erhöhten Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern geben die BfS-Autoren keine zusammenfassende Bewertung, sondern verweisen nur auf die Ergebnisse von zwei Meta-Analysen und einer Einzelarbeit:

- Die Studie von Kheifets et al. (2009) hat ein erhöhtes Auftreten von einigen neurodegenerativen Erkrankungen bei beruflich Exponierten ergeben. Vor allem für die Alzheimer-Demenz und die amyotrophe Lateralsklerose (ALS), nicht aber für die Parkinson-Krankheit und die multiple Sklerose, wurde ein erhöhtes Risiko festgestellt. Bei ALS ist unklar, ob es sich um einen direkten Zusammenhang mit Magnetfeldern handelt oder um einen Einfluss elektrischer Schläge, die an entsprechenden Arbeitsplätzen häufiger vorkommen können. Die Expositionswerte der am stärksten exponierten Arbeiter in Elektrizitätswerken lagen durchschnittlich bei 0,3 - 0,5 µT.
- Garcia et al. (2008) werteten 14 Kohorten- und Fall-Kontroll-Studien zur Alzheimer-Demenz aus. Auch ihre Meta-Analyse ergab ein erhöhtes Erkrankungsrisiko beruflich exponierter Personen. Die maximalen Expositionswerte lagen hier bei 0,2 – 2 µT.
- In der Einzelstudie von Röösli et al. (2007), die in der Schweiz an einem Kollektiv hoch exponierter Lokführer (durchschnittliche Exposition: 20 µT) durchgeführt wurde, zeigte sich ein erhöhtes Risiko für Demenzerkrankungen im Allgemeinen sowie speziell für die Alzheimer-Demenz. Das Risiko für ALS war leicht erhöht, die Zahl der Fälle war aber sehr gering und das Ergebnis statistisch nicht signifikant. Es wurden keine erhöhten Risiken für die Parkinson-Krankheit und multiple Sklerose gefunden.

In Bezug auf den Stand der Forschung zum Zusammenhang zwischen Magnetfeld-Exposition und Alzheimer-Demenz in der allgemeinen Bevölkerung verweist das BfS-Team auf die einzige Studie, die dazu bisher durchgeführt wurde (Huss et al. 2009). Sie ergab ein erhöhtes und zudem mit der Wohndauer steigendes Risiko für Alzheimer-Demenz bei Personen, die in einer Entfernung von weniger als 50 Metern zu einer Hochspannungsleitung (220 - 380 kV) wohnen.

Das BfS hält experimentelle biologische Forschung für notwendig, um den in den epidemiologischen Studien gefundenen Zusammenhang zwischen niederfrequenten Magnetfeldern und Alzheimer-Demenz und ALS zu erklären, indem mögliche Wirkmechanismen identifiziert werden. Es fördert deshalb das Forschungsvorhaben 'Auswirkungen niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Entstehung und den Verlauf von neurodegenerativen Erkrankungen im experimentellen Modell' an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz.

Bezüglich der anderen wissenschaftlich diskutierten Wirkungen niederfrequenter Felder verweist das Autorenteam des BfS auf die Zusammenfassung und Bewertung durch die WHO (WHO 2007; s. 5.2.1).

Angesichts der wissenschaftlichen Unsicherheiten hinsichtlich der gesundheitlichen Wirkungen niederfrequenter Felder empfiehlt das BfS, bei dem anstehenden Ausbau der Stromtrassen ein zweistufiges Schutzkonzept zu verfolgen:
"In Stufe eins sind Grenzwerte entsprechend dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik auf der Basis nachgewiesener Wirkungen festzulegen und gesetzlich zu verankern. In Planung und Vollzug ist die Einhaltung der Grenzwerte sicherzustellen.
Stufe zwei beinhaltet Vorsorgeregelungen. Unterhalb der Grenzwerte sind Vorsorgemaßnahmen zu ergreifen, um den wissenschaftlichen Unsicherheiten Rechnung zu tragen und mögliche Gesundheitsrisiken zu minimieren. Auch die Vorsorge sollte gesetzlich verankert werden.
Der zusätzliche Immissionsbeitrag einer neuen oder wesentlich veränderten Hochspannungsleitung sollte die bestehende zivilisatorisch bedingte Hintergrundbelastung an Orten, wo sich Personen gewöhnlich einen großen Teil des Tages aufhalten, nicht wesentlich erhöhen. Bei Gleichstromanlagen soll der zusätzliche Immissionsbeitrag nicht höher als die natürliche Hintergrundbelastung (Erdmagnetfeld) sein. Dies kann erreicht werden durch die technische Auslegung der Anlage (Phasenbelegung, Erdverkabelung etc.) und durch Beachtung bestimmter Abstände zwischen Anlage und Wohnungen."

<u>Kommentar</u>

Seit Beginn der 2000er Jahren findet der Vorsorgegedanke in den Stellungnahmen und Empfehlungen des BfS zunehmend Beachtung. In Diskussionen im Zusammenhang mit der Planung neuer Stromtrassen werden Stellungnahmen des BfS auch von Bürgerinitiativen als Argumente benutzt.

Würde die Empfehlung des BfS, dass der zusätzliche Immissionsbeitrag einer neuen oder wesentlich veränderten Hochspannungsleitung die bestehende zivilisatorisch bedingte Hin-

tergrundbelastung an Orten, wo sich Personen gewöhnlich einen großen Teil des Tages aufhalten, nicht wesentlich erhöhen sollte, tatsächlich umgesetzt, bedeutetet dies eine Begrenzung der Zusatzbelastung auf maximal 0,1 µT (in einer Studie im Auftrag des BfS wurden vom ECOLOG-Institut die Hintergrundbelastungen in Wohnungen ermittelt: Bei Wohnung in Einfamilienhäusern lag der Mittelwert bei 0,02 µT, bei Wohnungen in größeren Wohneinheiten bei 0,07 µT; Neitzke et al. 2009: 372).

5.3 Kommunale Entscheidungsträger

Bürgermeisterinnen und Bürgermeister gehören genauso wie Mandatsträgerinnen und träger in kommunalen Parlamenten selten zu den von sich aus Aktiven in den Debatten zum Netzausbau, wie Beobachtungen bei lokalen Bürgerversammlungen zeigen (s. 5.6). In den meisten Fällen werden sie von engagierten Bürgern dazu 'getrieben', sich des Themas anzunehmen. In der Regel verfügen weder sie noch die kommunalen Verwaltungen über Wissen zu den mit Expositionen gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern verbundenen Gesundheitsrisiken. Bei Informationsveranstaltungen, die in ihrer Verantwortung stattfinden, sind sie bemüht, jede Seite angemessen zu berücksichtigen. Meist werden neben Vertreterinnen oder Vertretern der zuständigen Bundes- oder Landesbehörden die von Netzbetreibern und Bürgerinitiativen vorgeschlagenen Referentinnen und Referenten eingeladen.

5.4 Umweltverbände

Von den großen Umweltverbänden hat bisher nur der BUND eine Stellungnahme zu den wissenschaftlichen Grundlagen für die Ableitung von Grenzwerten abgegeben (s. 5.4.1, s.a. 6.4.2). Daneben gibt es einige kleinere Verbände und Initiativen, die sich mit überregionalem Anspruch mit dem Thema 'Elektromagnetische Felder und Gesundheit' auseinandersetzen, allerdings überwiegend im Hochfrequenzbereich im Zusammenhang mit dem Mobilfunk und anderen Funktechniken (Diagnose Funk, Kompetenzinitiative). Dort liegt auch der Schwerpunkt der Aktivitäten des Bundesverbandes Elektrosmog, der aber auch für den Niederfrequenzbereich politische Forderungen erhebt (s. 5.4.2).

5.4.1 Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND)

Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) wurde im Jahr 1975 gegründet und ist mit über 480.000 Mitgliedern, Förderinnen und Förderern der größte Umweltverband in Deutschland. Es gibt in jedem Bundesland einen BUND-Landesverband sowie rund 2000 Kreis- und Ortsgruppen. Der BUND setzt sich für den Schutz von Natur und Umwelt in praktisch allen Gebieten ein.

In einem aktuellen Hintergrundpapier setzt sich der BUND sehr umfassend mit den Risiken durch und dem Schutz vor niederfrequenten magnetischen Wechselfeldern bei Hochspannungs-Freileitungen und Erdkabeln auseinander (BUND 2012). In dem Kapitel 'Gesundheitliche Wirkungen niederfrequenter Magnetfelder' werden (teilweise mit Verweis auf eine wie-

dergegebene Grafik des ECOLOG-Instituts zu den wissenschaftlichen Evidenzen für gesundheitliche Auswirkungen und biologische Effekte durch niederfrequente Magnetfelder) die folgenden Aussagen gemacht (BUND 2012: 8):
"Im Bereich Niederfrequenz und untere Hochfrequenz (0 bis 30 kHz) können hohe Feldstärken zur Induktion starker Körperströme führen. Solche Reizwirkungen auf den Organismus sind gut untersucht und bilden die Grundlage für die Festlegung von Grenzwerten."
"Epidemiologische Untersuchungen an Bevölkerungsgruppen, die erhöhten magnetischen Feldern ausgesetzt waren, deuten auf höhere Risiken für bestimmte Erkrankungen und Befindlichkeitsstörungen bereits bei Flussdichten von weniger als 1 µT hin. Die Studien weisen auch auf den starken Verdacht, dass niederfrequente Magnetfelder ab etwa 0,2 µT zu einem erhöhten Leukämierisiko bei Kindern führen (in Übereinkunft mit internationalen Erfahrungen) (Anmerkung der Verfasser: Hinweis auf eine in Deutschland durchgeführte Untersuchung aus dem Jahr 2001 und eine internationale Meta-Studie aus dem Jahr 2000)."
"Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) klassierte im Jahr 2007 niederfrequente Magnetfelder als möglicherweise krebserregend für Menschen. Auch bei Erwachsenen gibt es deutliche Hinweise auf ein erhöhtes Erkrankungsrisiko an Leukämie in Zusammenhang mit einer erhöhten Belastung durch Magnetfelder. Für Expositionen über 0,2 µT werden statistisch signifikant erhöhte relative Risiken für Leukämie festgestellt. Diese Aussagen werden durch neue, wissenschaftliche Ergebnisse bestätigt, die in einem Bericht des schweizerischen Bundesamtes für Umwelt (BAFU) zusammengefasst sind (Anmerkung der Verfasser: Hinweis auf eine Stellungnahme des Bundesamtes für Umwelt der Schweiz aus dem Jahr 2009: Niederfrequente Magnetfelder und Krebs. Bewertung von wissenschaftlichen Studien im Niedrigdosisbereich.
www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01511/index.html?lang=de). Aus Zellexperimenten ergeben sich demnach auch Hinweise, dass niederfrequente Magnetfelder die Wirkung bekannter krebserzeugender Stoffe verstärken können."
"Es gibt sehr starke Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für neurodegenerative Erkrankungen infolge Exposition durch niederfrequente Magnetfelder. Für Expositionen über 0,2 µT wurden in epidemiologischen Untersuchungen statistisch signifikant erhöhte relative Risiken vor allem für eine Erkrankung an Amyotrophischer Lateralsklerose (eine degenerativen Erkrankung des Nervensystems), weniger deutlich auch für die Alzheimer-Krankheit und andere Formen dementer Erkrankungen nachgewiesen. Auch liegen zahlreiche wissenschaftliche Hinweise darauf vor, dass niederfrequente Magnetfelder zu Veränderungen am Erbmaterial, zur vermehrten Produktion von Zell-Stress-Proteinen und zu Beeinträchtigungen bestimmter Zellfunktionen führen können. Alle diese Effekte haben Bedeutung für die Kanzerogenese."

Insgesamt kommt der BUND zu dem Schluss, dass – neben anderen Wirkungen – das erhöhte Leukämierisiko ab etwa 0,2 µT als Schwelle zu einer adversen Wirkung angesehen und diese zur Ableitung eines ausreichenden Schutzes oder der Vorsorge vor schädlichen Umwelteinwirkungen herangezogen werden kann. Ausgehend von dieser Schwelle unterbreitet der BUND einen eigenen Grenzwertvorschlag (s. 6.4.2).

Kommentar

Der BUND hat sich sehr gründlich mit den Auswirkungen des Baus neuer Hochspannungstrassen auseinandergesetzt. Die Darstellung zu möglichen gesundheitlichen Risiken entspricht nicht immer dem tatsächlichen wissenschaftlichen Erkenntnisstand (s. 3.2). Nicht zu halten ist insbesondere die Aussage "Auch bei Erwachsenen gibt es deutliche Hinweise auf ein erhöhtes Erkrankungsrisiko an Leukämie in Zusammenhang mit einer erhöhten Belastung durch Magnetfelder. Für Expositionen über 0,2 µT werden statistisch signifikant erhöhte relative Risiken für Leukämie festgestellt."

5.4.2 Bundesverband Elektrosmog e.V.

Der Bundesverband Elektrosmog e.V., ehemals Bundesverband gegen Elektrosmog e.V., hat sich das Ziel gesetzt, Betroffene bei juristischen, gesundheitlichen und technischen Fragestellungen zu unterstützen. Er wird zurzeit maßgeblich von Baubiologen getragen. Auf der politischen Ebene spricht sich der Verband für eine Herabsetzung der Belastung durch nieder- und hochfrequente Felder ("Elektrosmog") aus. Er fordert die Einführung von Vorsorgewerten bei gleichzeitiger Absenkung der gültigen Grenzwerte. Was technisch zur Expositionsminimierung machbar ist, sollte auch verwirklicht werden.

5.5 Ärztinnen und Ärzte

Bei der Bewertung möglicher gesundheitlicher Risiken durch elektrische und magnetische Felder, bei der Betreuung von Personen, die ihre gesundheitlichen Beschwerden Expositionen gegenüber solchen Feldern zuschreiben und bei Diskussionen über konkrete Anlagen, die zu Expositionen führen können, kommt Medizinerinnen und Medizinern eine besondere Bedeutung zu, weil

- ihnen in Gesundheitsfragen von großen Teilen der Bevölkerung und vor allem von (potenziell) Betroffenen eine größere Kompetenz als Behördenvertreterinnen und -vertretern aber auch als Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zugesprochen wird,
- sie erste und wichtige Ansprechpersonen für um ihre Gesundheit Besorgte oder sich durch elektrische oder magnetische Felder gesundheitlich betroffen Fühlende sind und
- sie sich nicht selten in Bürgerinitiativen engagieren und/oder sich in Bürgerversammlungen zu Wort melden.

Die vorstehenden Einschätzungen beruhen auf Beobachtungen, die von dem Autorenteam bei der Vorbereitung von und bei Bürgerversammlungen und öffentlichen Anhörungen gemacht wurden (s.a. 5.6), sowie auf Anfragen, die von Bürgerinnen und Bürgern, Medizinerinnen und Medizinern an das ECOLOG-Institut gerichtet wurden.

Eine unter deutschen Allgemeinmedizinerinnen und -medizinern durchgeführte Befragung (Kowall et al. 2009, Gerg-Beckhoff et al. 2010) ergab, dass diese in Bezug auf Umweltrisiken generell viel besorgter sind als die Allgemeinbevölkerung: Hochspannungsleitungen betrachten nur 16 % der Bevölkerung, aber 43 % der befragten Medizinerinnen und Mediziner mit Sorge. Gut 37 % der mit einem Kurzfragebogen Befragten stimmten der Aussage zu, dass

es Personen gibt, deren Beschwerden von elektromagnetischen Feldern bei Stärken unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte verursacht werden. Unter den Befragten, die eine Langfassung des Fragebogens beantworteten, waren es sogar mehr als 57 %. Bei Letzteren gehen die Autorinnen und Autoren aber davon aus, dass sie keine repräsentative Auswahl darstellen. Zu dem mit der Beantwortung der Langfassung verbundenen Mehraufwand dürften ihrer Meinung nach eher Ärzte und Ärztinnen bereit gewesen sein, die davon ausgehen, dass es einen Zusammenhang zwischen EMF-Exposition und bestimmten Krankheiten gibt.

Der Kenntnisstand der befragten Medizinerinnen und Mediziner zu den Eigenschaften und Wirkungen elektromagnetischer Felder ist eher gering, das zeigen vor allem die hohen Anteile der Antwortmöglichkeit 'weiß nicht'. Der Aussage 'Niederfrequente EMF können Nerven und Muskelzellen stimulieren' stimmten gut 43 % der Befragten richtiger Weise zu, knapp 12 % gaben eine falsche Antwort und 45 % gaben an, dies nicht zu wissen. Bei der Aussage 'Die mittlere Exposition gegenüber EMF liegt in Deutschland deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten' wussten 46 % der Befragten nicht, ob sie richtig oder falsch ist. Dazu passt, dass zwei Drittel der Befragten angaben, in den letzten Monaten keine Informationen über EMF gelesen zu haben und dass das Thema in der ärztlichen Fortbildung keine Rolle spielt.

Kommentar

Es kann von Ärztinnen und Ärzten nicht erwartet werden, dass sie auf dem neuesten Stand der wissenschaftlichen Forschung zu Gesundheitsrisiken im Zusammenhang mit Expositionen gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern sind. Da sie jedoch wichtige Ansprechpersonen Betroffener sind und ihre Stimme in lokalen Diskussionen über mögliche Risiken durch neue Stromtrassen Gewicht hat, sollten sie aber zumindest über ein gewisses wissenschaftliches abgesichertes Grundlagenwissen verfügen und in Grundzügen über wissenschaftliche Diskussionen und ihre Bedeutung für den vorsorgenden Gesundheitsschutz Bescheid wissen.

In den Regionen, in denen über neue Hochspannungstrassen diskutiert wird, gibt es mittlerweile einige Ärztinnen und Ärzte, die sich gut in die Gesundheitsthematik eingearbeitet haben.

5.6 Bürgerinitiativen, Bürgerinnen und Bürger

Die Bevölkerung unterstützt mehrheitlich die Energiewende, steht neuen Hochspannungstrassen aber eher skeptisch gegenüber (s. Kap. 1). Entlang der vorgesehenen Trassen für die neuen Höchstspannungsleitungen gibt es vielerorts massiven Widerstand der Bürgerinnen und Bürger (Kleinhückelkotten et al. 2012). Schwerpunkte des Widerstands liegen derzeit im südlichen Niedersachsen und nördlichen Hessen. Aber auch in Schleswig-Holstein, im westlichen Niedersachsen, in Nordrhein-Westfalen, Brandenburg, Franken und im Raum Stuttgart sind etliche Bürgerinitiativen aktiv. Der Widerstand richtet sich mancherorts zwar auch gegen neue Stromtrassen an sich, vor allem aber werden Verläufe und technische Ausführungen der Trassen kritisiert. Gefordert werden große Abstände zu Wohnbebauung,

Schulen, Kindergärten und ähnlich sensiblen Orten, die Ausführung als Erdkabel oder der Einsatz der HGÜ-Technik.

Die Auswertungen von Bürgerversammlungen, die in den Jahren 2010 bis 2013 entlang möglicher neuer Trassen stattfanden[1], und Interviews mit Sprecherinnen und Sprechern von Bürgerinitiativen im Herbst 2012 (Kleinhückelkotten et al. 2012) ergaben die folgenden häufig genannten Argumente gegen die Trassenführung oder die Ausführung als Freileitung:

Gesundheit
EMF-Risiken: Die elektromagnetischen Felder führen zu Krebs und anderen Krankheiten.
Zu hohe Grenzwerte: Die Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte bietet keinen Schutz, da die Grenzwerte viel zu hoch sind. In anderen Ländern gelten viel niedrigere Grenzwerte.
Aerosole: An Freileitungen entstehen Ionen, die zur Entstehung von Aerosolen führen. Sie werden mit dem Wind transportiert und über sie können Schadstoffe in die Lunge gelangen.
Angst: Der Anblick der Freileitungen macht Angst. Angst macht krank.

Natur und Umwelt
Vogelfallen: Freileitungen stellen für große Vögel eine Gefahr dar.
Schadstoffe: Von den Masten gelangen Schwermetalle in den Boden.
Umweltschäden: Saubere Energie soll und muss sauber transportiert werden. Freileitungen sind keine sauberen Transportwege.

Landschaft
Landschaftsverschandelung: Freileitungen führen zur Verschandelung der Landschaft.
Heimatverlust: Mit der Zerstörung der Landschaft durch Hochspannungsfreileitungen geht ein Stück Heimat verloren.
Lebensqualitätsverlust: Freileitungen in der Landschaft bedeuten einen Verlust an Lebensqualität

Privates Eigentum
Immobilienentwertung: Werden in der Nachbarschaft Freileitungen gebaut, sinkt der Wert von Immobilien.

Akzeptanz
Verzögerungen durch fehlende Akzeptanz: Freileitungen stoßen in der Bevölkerung auf großen Widerstand. Erdkabel sind unsichtbar. Sie können deshalb zügig und mit großer Akzeptanz in der Bevölkerung verlegt werden.

Kosten
Fehlende Gesamtkostenbetrachtung: Den hohen Kosten einer Erdverkabelung müssen die Einsparungen durch geringere Energieverluste und höhere Betriebssicherheit gegenübergestellt werden.

[1] Bad Gandersheim (Niedersachsen), 14.09.2012; Bayreuth (Bayern), 12.04.2013; Delligsen (Niedersachsen), 07.04.2010; Göttingen (Niedersachsen), 13.03.2013; Heide (Schleswig-Holstein), 24.09.2013; Melsungen (Hessen), 18.12.2010; Quickborn (Schleswig-Holstein), 07.03.2011

Wirtschaft
Negative Auswirkungen auf den Tourismus: Die Zerstörung der Landschaft durch Hochspannungsleitungen führt dazu, dass die Region für Touristen unattraktiv wird. Der Tourismus ist in der strukturschwachen Region aber ein wichtiger Wirtschaftsfaktor.

Versorgungssicherheit
Wetterrisiko: Freileitungen sind bei extremen Witterungsverhältnissen stark gefährdet. Die Masten können umknicken.

Mögliche gesundheitliche Risiken sind zwar nicht die einzigen Argumente haben in der Diskussion aber einen besonders hohen Stellenwert. Die Auswertungen von Bürgerversammlungen zeigen, dass die dort anwesenden Bürgerinnen und Bürger insbesondere die folgenden Fragen beschäftigen (sinngemäß):

- Wie stark sind die Felder an Wechselspannungstrassen (Freileitungen und Kabel)? Wie stark sind sie an HGÜ-Trassen?
- Wie addieren sich die Belastungen durch 380 kV-Leitungen und die durch 110 kV- oder andere Leitungen?
- Wie lange wird schon an der Frage der Gesundheitsauswirkungen elektrischer und magnetischer Felder geforscht? Gibt es aktuelle Forschung dazu?
- Welche gesundheitlichen Auswirkungen haben die Felder von Stromleitungen?
- Es gibt Studien, in denen bereits bei 0,3 µT gesundheitliche Auswirkungen festgestellt wurden. Wie sind diese zu bewerten?
- Die Internationale Agentur für Krebsforschung hat niederfrequente Magnetfelder als 'möglichweise krebserregend' eingestuft. Was bedeutet das?
- Wie verhält sich das Risiko durch elektrische und magnetische Felder zu anderen Gesundheitsrisiken im Alltag?
- Welche Auswirkungen haben elektrische und magnetische Felder auf Herzschrittmacher und andere Implantate? Wie kann man sich als Herzschrittmacherträger schützen?
- Wer bewertet die wissenschaftlichen Ergebnisse? Welche Kriterien liegen den Bewertungen zugrunde?
- Wie kommen die in Deutschland geltenden Grenzwerte zustande?
- Wie kommt es, dass in anderen Ländern zum Teil andere niedrigere Grenzwerte gelten?

Eine für dieses Gutachten durchgeführte Auswertung einiger Internet-Seiten (s. www/BI), die von Bürgerinitiativen betrieben werden, zeigt ein breites Spektrum an Befürchtungen (Gruppierung durch die Autoren, Gesundheitsrisiken, die in Kapitel 3.2 den Evidenzkategorien 'wahrscheinlich' und 'möglich' zugeordnet wurden, sind in der Aufzählung unterstrichen):

- Krebs: Gehirntumoren, Leukämie (Kinder) und andere Krebserkrankungen
- Krebs- und andere Erkrankungen durch Ionisation und vermehrte Ablagerung von Luftschadstoffen (Schadstoffsmog) in der Lunge
- Alzheimer
- Psychische Erkrankungen: Depressionen, Selbstmord
- Kognitive Störungen: Gedächtnisstörungen, Lernprobleme, räumliche Desorientierung
- Befindlichkeitsstörungen: chronische Kopfschmerzen, Schlafstörungen, chronische Müdigkeit
- Fortpflanzungsprobleme: Fehlgeburten, Potenzstörungen

- rheumatische Beschwerden
- Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems: Herzinfarkt, Herzrhythmusstörungen, Blutdruckänderungen
- Störungen des Immunsystems: verringerte Immunreaktion, erhöhte Infektanfälligkeit
- Gentoxizität: DNA-Schäden, Veränderung der DNA-Reparaturkapazität

In Mustereinwendungen gegen Hochspannungstrassen und Leitfäden für Einwände in Planfeststellungsverfahren sind mögliche Gesundheitsrisiken ein wichtiger Punkt (s. z.B. www/Einwendungen).

Bei den Teilnehmerinnen und Teilnehmern lokaler Informationsveranstaltungen und Bürgerversammlungen (s.o.) zum Netzausbau lassen sich grob fünf Typen identifizieren:

- Die *Macher*: Der lokale Protest wird organisatorisch von vergleichsweise wenigen Personen getragen. Diese investieren viel Zeit und Kraft in ihre Arbeit: Sie organisieren Unterschriftenaktionen, Demonstrationen und Informationsveranstaltungen, führen die Gespräche mit Kommunen, Aufsichtsbehörden, Netzbetreibern und der Presse. Sie sind oft, aber nicht immer, selbst betroffen. Über verwaltungsrechtliche Verfahrensfragen sind sie meist gut informiert, die von der Bundesnetzagentur, den Netzbetreibern oder den zuständigen Behörden auf Landesebene angebotenen Informationen sind ihnen bekannt.
- Die *wissenschaftlich Belesenen*: Einige Aktive, oft Ärztinnen, Ärzte oder andere Personen mit einem akademischen Hintergrund, haben sich zumindest grob in die wissenschaftlichen Grundlagen eingearbeitet und sind bemüht, ihre Argumente mit Hinweisen auf wissenschaftliche Studien zu untermauern. Einzelne haben sich sehr gründlich mit medizinisch-wissenschaftlichen und/oder technischen Fragen befasst. Ihr Wissen kommt aufgrund der guten Vernetzung oft auch anderen Bürgerinitiativen zugute.
- Die *Fundamentalisten*: Einzelne Personen, meist mit höherer Bildung, vertreten in den Veranstaltungen grundsätzlich ablehnende Positionen. Sie haben sich mit der Materie meist nicht im Einzelnen auseinandergesetzt, sondern führen grundlegende ethische oder moralische Argumente ins Feld ("Technik darf den Menschen nicht schaden", "Ganz gleich, ob der Risikofaktor 2 oder 20 ist, jedes an Leukämie erkrankende Kind ist zu viel."), denen natürlich niemand widersprechen kann, die aber eine wissenschaftlich fundierte Diskussion über die Einordnung von Risiken unmöglich machen.
- Die *Verunsicherten*: Ein großer Teil der Teilnehmerinnen und Teilnehmer an Bürgerversammlungen vor Ort sind Personen, die durch den Bau einer Hochspannungsleitung betroffen sind oder sich betroffen fühlen, die Angst um ihre Gesundheit oder die ihrer Kinder haben, einen Wertverlust ihrer Immobilie oder die Zerstörung ihrer Heimat befürchten, aber sich entweder nicht zutrauen, selbst aktiv zu werden, oder tatsächlich damit überfordert wären. Mit wissenschaftlichen Argumenten geführte Diskussionen verstärken bei ihnen nur das Gefühl, dass alles (für sie) zu kompliziert ist und selbst 'die Wissenschaft' keine klaren Antworten geben kann. Nicht die Fachleute mit den besten wissenschaftlichen, technischen oder politischen Sachargumenten, sondern Fundamentalisten und Personen, die ihre persönlichen Erfahrungen, ihre Betroffenheit oder ihre Ängste in die Diskussion einbringen, erhalten von ihnen den stärksten Applaus.

- Die *Informationsorientierten*: In Bürgerversammlungen sind die, deren Meinungsbildungsprozess noch nicht abgeschlossen ist und die deshalb weitere Informationen suchen, meist eine Minderheit. Ihr Interesse entspringt seltener einer direkten Betroffenheit, sondern dem Bedürfnis, über ein Thema informiert zu sein, das offensichtlich von hoher lokaler und darüber hinausreichender Bedeutung ist. Hinzu kommen jene, die sich als kommunale Mandatsträgerinnen und -träger oder in anderer Weise kommunalpolitisch Aktive verpflichtet fühlen, informiert zu sein, sowie Personen, die einfach nur am Thema interessiert sind.

Kommentar

Ein Vergleich mit den Ergebnissen der Bestandsaufnahme der wissenschaftlichen Erkenntnisse (s. Kap. 3) zeigt, dass einige der von Bürgerinitiativen befürchteten Gesundheitsrisiken durch die Felder von Stromtrassen nicht von der Hand zu weisen sind. Den Argumentationen der Bürgerinitiativen liegen allerdings selten systematische Auswertungen zugrunde und es werden neben den Gesundheitsrisiken durch niederfrequente Felder, für die es starke wissenschaftliche Belege gibt, auch solche genannt, die wissenschaftlich allenfalls für den Hochfrequenzbereich diskutiert werden (z.B. Potenzstörungen) oder eher spekulativ sind.

Aufgrund der Zusammensetzung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer ist die aufklärerische Wirkung von Informationsveranstaltungen sehr begrenzt. Von Nutzen sind sie vor allem für die Minderheit der Informationsorientierten. Macher und wissenschaftlich Belesene haben bereits einen hohen Wissensstand. Nicht selten haben sie sich auch schon auf Argumentationen und 'Problemlösungsstrategien' festgelegt, die zu hinterfragen, sie nicht mehr bereit sind. Bei Fundamentalisten und Verunsicherten können wissenschaftliche Argumente kaum zu einem Umdenken beitragen.

5.7 Wahrnehmung und Bewertung der gesundheitlichen Risiken durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder und Ansprüche an das Risikomanagement

5.7.1 Wahrnehmung und Bewertung der gesundheitlichen Risiken durch wissenschaftliche und gesellschaftliche Akteure

Die Darstellungen der Sichtweisen verschiedener an der Diskussion über mögliche Gesundheitsrisiken durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder direkt oder indirekt beteiligter wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Akteure zeigen:

a) Die Risikobewertungen durch die von vielen Regierungen akzeptierten oder von der EU-Kommission bzw. der Bundesregierung eingesetzten wissenschaftlichen Kommissionen IARC, ICNIRP, SCENHIR und SSK (s. 5.1.1 bis 5.1.4) zeigen eine weitgehende, wenn auch nicht vollständige, Übereinstimmung im Hinblick auf einen Zusammenhang zwischen Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern und Leukämieerkrankungen im Kindesalter: Aufgrund der weitgehend konsistenten Ergebnisse einer vergleichsweise großen Zahl epidemiologischer Studien werden ein statistischer Zusam-

menhang zwischen Expositionshöhe und Erkrankungsrisiko sowie ein Anstieg des relativen Risiko mit zunehmender Höhe der Exposition für möglich gehalten. Im Vergleich zu dem Wert für Kinder, die niederfrequenten Magnetfeldern im Mittel bis 0,2 µT ausgesetzt sind, verdoppelt sich für Kinder mit Expositionen von mehr als 0,4 µT das relative Risiko. Die Einstufung in eine höhere Kategorie wissenschaftlicher Evidenz wird wegen des Fehlens ausreichender Belege aus experimentellen Studien für einen Zusammenhang zwischen Magnetfeldexposition und Leukämierisiko von IARC, ICNIRP, SCENHIR und SSK abgelehnt. Begründet wird dies auch damit, dass bisher kein biophysikalischer Wirkungsmechanismus nachgewiesen wurde, der einen solchen Zusammenhang erklären könnte.

Die von den genannten wissenschaftlichen Kommissionen vorgelegten Bewertungen der Risiken für neurodegenerative Erkrankungen, insbesondere die Alzheimer-Krankheit, bei erhöhten Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern sind weniger konsistent. Ein statistischer Zusammenhang wird zum Teil für möglich gehalten, es wird aber durchweg eine unzureichende Stützung der epidemiologischen durch experimentelle Befunde und das Fehlen eines nachgewiesenen Wirkungsmodells kritisiert.

Bei allen anderen untersuchten gesundheitlichen Endpunkten sehen die genannten wissenschaftlichen Kommissionen keine hinreichenden Belege für eine Risikoerhöhung durch erhöhte Expositionen gegenüber niederfrequenten Feldern. Begründet wird dies mit geringen Zahlen an Untersuchungen, methodischen Mängeln, fehlenden Replikationen und widersprüchlichen Ergebnissen. Lediglich die bei hohen Feldstärken zu beobachtenden akuten Wirkungen auf den Organismus werden als wissenschaftlich eindeutig nachgewiesen anerkannt. Diese Wirkungen werden bei der Festlegung der Höhe der von der ICNIRP empfohlenen Grenzwerte berücksichtigt (s. 6.2.1).

b) Von einer Minderheit der in der Forschung zu biologischen Effekten und gesundheitlichen Beeinträchtigungen tätigen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wird die Beweiskraft der vorliegenden wissenschaftlichen Befunde deutlich höher eingeschätzt (s. 5.1.5). Von diesen engagieren sich einige in der BioInitiative Working Group. Sie verweisen auf die Konsistenz der Ergebnisse zum einen der epidemiologischen Studien, insbesondere zu Leukämie im Kindesalter, Krebs bei Kindern und Erwachsenen sowie neurodegenerativen Erkrankungen bei Erwachsenen, und zum anderen verschiedener experimenteller Ansätze, z.B. bei der Untersuchung gentoxischer Wirkungen. Sie halten den Nachweis eines biophysikalischen Wirkungsmechanismus zwar für wissenschaftlich wünschenswert, machen diesen jedoch nicht zur Voraussetzung für die Bewertung der gesundheitlichen Relevanz der Ergebnisse epidemiologischer und experimenteller Untersuchungen. Von der BioInitiative Working Group wird deshalb auch ein deutlich niedrigerer Grenzwert empfohlen als von der ICNIRP (s. 6.4.1).

c) Die WHO und viele nationale Regierungen, darunter auch die Bundesregierung, übernehmen die Bewertungen der vorliegenden wissenschaftlichen Forschungsergebnisse durch IARC, ICNIRP, SCENHIR und SSK (s. 5.2.1 bis 5.2.4).

d) Die SSK und das Bundesamt für Strahlenschutz stimmen mit der ICNIRP darin überein, dass bei der Festlegung der Höhe der Grenzwerte nur wissenschaftlich nachgewiesene Wirkungen zugrunde gelegt werden sollten. Sie geben aber zugleich Vorsorge-orientierte Empfehlungen: Beide sprechen sich für eine Minimierung der Expositionen aus (s. 6.2.2, 5.2.5). Das Bundesamt für Strahlenschutz schlägt zudem vor, dass zusätzliche Immissi-

onsbeiträge einer neuen oder wesentlich veränderten Hochspannungsleitung die bestehende zivilisatorisch bedingte Hintergrundbelastung an Orten, wo sich Personen gewöhnlich einen großen Teil des Tages aufhalten, nicht wesentlich erhöhen sollten. Diese liegt unter 0,1 µT.

e) Von Seiten der großen Umweltverbände hat sich bisher nur der BUND mit möglichen gesundheitlichen Folgen erhöhter Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern auseinandergesetzt (s. 5.4.1). Der BUND interpretiert die von ihm herangezogenen Zusammenfassungen zum wissenschaftlichen Erkenntnisstand als starken Verdacht, dass niederfrequente Magnetfelder ab etwa 0,2 µT zu einem erhöhten Leukämierisiko bei Kindern führen, und als sehr starke Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für neurodegenerative Erkrankungen infolge einer Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern. Insgesamt kommt der BUND zu dem Schluss, dass insbesondere der Anstieg des Leukämierisikos ab etwa 0,2 µT zur Ableitung eines Grenzwerts herangezogen werden sollte und macht einen entsprechenden Grenzwertvorschlag (s. 6.4.2).

f) Von Seiten der deutschen Ärzteschaft gibt es bisher keine abgestimmten Positionen zu gesundheitlichen Risiken im Zusammenhang mit niederfrequenten Feldern. Einzelne Ärztinnen und Ärzte haben sich jedoch recht gut in das Thema eingearbeitet. In ihren Stellungnahmen orientieren sie sich stark am Vorsorgegedanken (s. 5.5). In Gesundheitsfragen wird den engagierten Ärztinnen und Ärzten von großen Teilen der Bevölkerung und vor allem von (potenziell) Betroffenen eine größere Kompetenz als Behördenvertreterinnen und -vertretern sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zugesprochen. Die Mehrzahl der Ärztinnen und Ärzte ist über die Eigenschaften elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder und mögliche gesundheitliche Auswirkungen erhöhter Expositionen aber schlecht informiert.

g) Für betroffene Bürgerinnen und Bürger sind mögliche gesundheitliche Risiken durch die von Hochspannungstrassen verursachten Felder ein starkes Argument für ihren Widerstand (s. 5.6). Für etliche der von Bürgerinitiativen aufgeführten Gesundheitsrisiken durch die Felder von Stromtrassen gibt es wissenschaftliche Belege und es können Wissenschaftlerinnen oder Wissenschaftler benannt werden, die vor diesen warnen. Es werden aber auch Auswirkungen genannt, die eher spekulativ sind. Aus Sicht der betroffenen Bürgerinnen und Bürger sind die derzeit geltenden Grenzwerte viel zu hoch und die allgemeinen Aussagen von Behörden zu Vorsorgemaßnahmen viel zu unkonkret, um einen wirklichen Gesundheitsschutz zu gewährleisten.

5.7.2 Gründe für die Unterschiede in der Einschätzung von Risiken und der Angemessenheit von Schutzmaßnahmen

Der Bewertung möglicher Gesundheitsrisiken im Zusammenhang mit Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern durch IARC, ICNIRP, SCENHIR und SSK liegt letzten Endes das versicherungsmathematische Risikokonzept zugrunde: Die Höhe eines Risikos (R) ist gegeben durch $R = W \times S$, dem Produkt aus der Wahrscheinlichkeit (W) für den Eintritt eines Schadensfalls und der zu erwartenden Schadenshöhe (S). Die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt eines Schadensfalls kann wiederum als Produkt aus der Wahrscheinlichkeit (W_E) für das Auftreten einer Exposition und der Wahrscheinlichkeit, dass diese Exposition zu einem Gesundheitsschaden (W_G) führt, dargestellt

werden: $W = W_E \times W_G$. Die genannten wissenschaftlichen Kommissionen setzen sich in ihren Bewertungen des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes vor allem mit der Wahrscheinlichkeitskomponente W_G auseinander. Diese erklären sie für klein, weil aus ihrer Sicht allenfalls epidemiologische Befunde für einen Zusammenhang zwischen der Exposition und dem Auftreten einer Krankheit sprechen. Im Zusammenhang mit dem Risiko für kindliche Leukämien als Folge von erhöhten Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern wird außerdem argumentiert, dass die Wahrscheinlichkeitskomponente W_E ebenfalls klein ist, da es nur wenige Kinder gibt, die von Hochspannungstrassen erzeugten Magnetfeldern von mehr 0,2 µT ausgesetzt sind. Wenn W_E, W_G und damit W ohnehin als sehr klein unterstellt werden können, spielt die Größe von S praktisch keine Rolle.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die die Herangehensweise insbesondere der ICNIRP kritisieren und deren Empfehlungen zum Gesundheitsschutz für unzureichend halten, wie die Mitglieder der BioInititive Working Group, schätzen W_G aufgrund der wissenschaftlichen Evidenzlage deutlich höher ein und plädieren für starke Expositionsbegrenzungen, um die Wahrscheinlichkeit W_E für das Auftreten höherer Expositionen sehr klein zu halten und zu einem niedrigen W zu kommen.

Diese Argumentation mit Wahrscheinlichkeiten geht an Laien, zu denen die meisten Bürgerinnen und Bürger ebenso wie die Mehrzahl der in den Bürgerinitiativen Aktiven zu rechnen sind, völlig vorbei. Es ist schon lange bekannt, dass die subjektive Risikowahrnehmung im Wesentlichen durch die verschiedenen qualitativen Merkmale eines Risikos und der jeweiligen Risikosituation bestimmt wird (psychometrischer Erklärungsansatz; s. z.B. Fischhoff et al. 1978, Slovic 1987, Jungermann 1990, Jungermann & Slovic 1993, Slovic et al. 2004, für eine Übersicht über die Risikowahrnehmung beeinflussende Faktoren s. Moser & Neitzke 2007). Solche Merkmale sind z.B.:

- Schrecken, der mit dem potentiellen Schaden verbunden ist: Das Risiko einer Krebserkrankung ist mit stärkeren Ängsten verbunden als das einer Herz-Kreislauf-Erkrankung.
- Gewöhnung an eine Risikoquelle: Das Risiko durch einen 'normalen' Grippeerreger erscheint weniger groß als das Gesundheitsrisiko durch einen neuartigen Erreger.
- Sinnliche Wahrnehmbarkeit einer Gefahr: Sinnlich wahrnehmbare Gefahren werden oft geringer eingeschätzt als solche, die nicht unmittelbar wahrnehmbar sind, wie z. B. radioaktive Strahlung oder Mikroorganismen.
- Persönlicher Nutzen im Verhältnis zum Risiko: Schädliche Nebenwirkungen einer Verhaltensweise, z.B. die bekannten Gesundheitsgefahren durch das Rauchen, werden um des Nutzens willen, im Beispiel die Wirkung des Nikotins, in Kauf genommen. Risiken werden eher akzeptiert, wenn Nutznießer und Risikoträger übereinstimmen.
- Freiwilligkeit der Risikoübernahme: Das Risiko durch die Strahlung des eigenen Mobiltelefons wird anders eingeschätzt als jenes, das durch die von einer Mobilfunkanlage in der Nachbarschaft verursachten Expositionen entsteht.
- Persönliche Kontrolle des Risikos bzw. des selbst zu tragenden Risikoanteils: Risiken, die objektiv hoch sind, aber bei denen man den Eindruck hat, sie selbst steuern zu können, wie z.B. schnelles Autofahren, Telefonieren als Fahrer während der Fahrt und Rauchen, werden geringer eingeschätzt als fremdbestimmte Risiken.

- Eindeutigkeit der Informationen über mögliche Gefahren: Wenn die Bewertungen von Gefahren durch Personen und Institutionen, denen eine ähnliche Kompetenz und Vertrauenswürdigkeit (s.u.) zugesprochen wird, zu stark divergieren, führt dies zu Verunsicherung und dazu, sich lieber auf das eigene Gefühl zu verlassen.

Von den genannten Einflussfaktoren wirkt sich die Mehrzahl verstärkend auf die Wahrnehmung möglicher Risiken durch die Felder von Hochspannungstrassen aus:

- Diskutiert wird unter anderem über Leukämie, andere Krebserkrankungen und die Alzheimer Krankheit – alles Krankheiten, von denen ein hoher Schrecken ausgeht.
- Die möglicherweise krankmachenden Felder sind zumindest mit den analytischen Sinnen Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Tasten nicht wahrnehmbar. Die Höhe einer Exposition ist nicht intuitiv einschätzbar, sondern nur mit (aus Sicht von Laien komplizierten) Messgeräten erfassbar.
- Eine Hochspannungstrasse 'hinter dem Haus' hat für die Betroffenen Hausbesitzer keinen unmittelbaren Nutzen, sondern sie schadet nur, weil sie die Aussicht zerstört und den Wert der Immobilie vermindert. Die Notwendigkeit einer Trasse für die Umsetzung einer vergleichsweise fernen Energiewende wiegt dagegen gering.
- Mögliche Risiken durch die Felder einer Hochspannungstrasse werden nicht freiwillig übernommen, sondern sie werden der betroffenen Bevölkerung, so die Wahrnehmung, von Profit-orientierten Unternehmen und den ihnen zuarbeitenden Behörden aufgezwungen.
- Die Risiken die mit dem Betrieb einer Hochspannungstrasse möglicherweise verbunden sind, können durch die Anwohner nicht gesteuert werden. Sie haben allenfalls in der Planungsphase die Möglichkeit, mögliche Risiken durch Widerstand gegen die Trasse zu verhindern.
- Die Risiken werden von Teilen der Wissenschaft, vielen Ärztinnen und Ärzten sowie Umweltverbänden anders eingeschätzt als von den wissenschaftlichen Beratungsgremien, auf die sich die Regierung beruft.

Hochspannungsleitungen stellen zwar, anders als lange Zeit Mobilfunkanlagen, keine neue Risikoquelle dar. Sie sind schon lange deutlich sichtbare Elemente unserer technischen Infrastruktur. Aber dass es wissenschaftliche Arbeiten gibt, die zeigen, dass in ihrer Umgebung Krankheiten häufiger auftreten, weiß man erst, seit über die Trasse in der Nachbarschaft diskutiert wird.

Als ein wichtiger Faktor für die Risikowahrnehmung wurde in einigen Arbeiten das Vertrauen in die Personen oder Institutionen, die für das Risikomanagement verantwortlich sind bzw. die Informationen zu dem Risiko bereitstellen, identifiziert (s. z.B. Siegrist 1999, Siegrist et al. 2003). Die Bereitschaft, sich auf die Informationen, Bewertungen und Entscheidungen von Personen und Institutionen zu verlassen, ist größer, wenn deren Kompetenz allgemein anerkannt ist oder man den Eindruck hat, sie seien kompetent, wenn sie zu Personen- oder Berufsgruppen oder zu Institutionen gehören, die allgemein als vertrauenswürdig gelten, wie z.B. Ärzte, Richter, Umwelt- und Naturschutzverbände, oder wenn man den Eindruck hat, dass das eigene Anliegen bei ihnen 'in guten Händen' ist. Es gibt aber auch Autoren, die der

Vertrauenswürdigkeit vor allem in Risikoentscheider keinen hohen Stellenwert einräumen (s. z. B. Sjöberg 2001, 2002). Es könnte also sein, dass Vertrauen in Personen oder Institutionen eine notwendige, aber keineswegs eine hinreichende Voraussetzung dafür darstellt, dass deren Risikobewertungen übernommen werden.

Die Grenzwerte, die in Deutschland gelten und den Schutz der Bevölkerung vor Gesundheitsgefahren durch elektrische und magnetische Felder sicherstellen sollen (s. 6.3.1), beruhen auf Empfehlungen der ICNIRP (s. 6.2.1). Diese Organisation genießt bei den Bürgerinitiativen praktisch kein Vertrauen. Sie gilt weder als objektiv noch als fair (s. 5.1.2). Wenn sich Behörden auf die ICNIRP berufen, führt dies bei engagierten Bürgerinnen und Bürgern eher zu verstärkter Reaktanz. Ähnlich, wenn auch nicht so ausgeprägt, sind die Reaktionen auf die SSK. Das BfS hat es dagegen in den zurückliegenden zehn bis fünfzehn Jahren geschafft, dass seinen Vertreterinnen und Vertretern abgenommen wird, dass sich die Behörde für einen Vorsorge-orientierten Gesundheitsschutz einsetzt.

Die personellen Überschneidungen zwischen den verschiedenen Kommissionen, die dazu führen, dass immer wieder dieselben Namen auftauchen, verstärken bei Bürgerinnen und Bürger den Eindruck, dass dort eine kleine Gruppe von Wissenschaftlern (es sind tatsächlich praktisch nur Männer) ihre Auffassungen durchsetzen, ohne dass sie dazu demokratisch hinreichend legitimiert sind und ihr Vorgehen nachvollziehbar wäre. 'Abweichler' von der institutionalisierten wissenschaftlichen Auffassung genießen von vorneherein mehr Sympathien und werden für glaubwürdiger und oft sogar kompetenter gehalten, auch wenn sie fachlich nicht herausragend sind.

Das komplexere Risiko'konzept' von Laien ist ein Grund dafür, dass die Risikoeinschätzung durch große Teile der Bevölkerung deutlich von der Bewertung von Risiken durch viele Expertinnen und Experten abweicht. Bei einer in den USA durchgeführten Untersuchung zeigte sich, dass die Wahrnehmung der Risiken durch die Felder von Hochspannungsleitungen sehr stark davon abhängt, wie hoch die Vorbildung der befragten Personen war und wie stark sie beruflich mit dem Thema zu tun hatten (McMahan et al. 2002). Personen, die in der Industrie beschäftigt waren, vertraten zudem deutlich häufiger als Personen in Regierungsstellen die Auffassung, dass die Felder kein Problem darstellen. In der Studie wurde allerdings nicht untersucht, woher die bei Beschäftigten in der Industrie vorherrschende Einstellung rührt, dass die Felder von Hochspannungsleitungen unproblematisch sind. Sind dafür Wissen und berufliche Erfahrung verantwortlich oder passen die Beschäftigten ihre Risikowahrnehmung aus Rücksicht auf die eigene Karriere oder um kognitive Dissonanzen zu vermeiden an die Position an, die im Unternehmen vorherrscht oder am besten dessen Interessen dient? Die Frage ist interessant, spielt aber bei Diskussionen über neue Hochspannungstrassen keine Rolle. Expertinnen und Experten, die im Dienste von Unternehmen stehen, die vom Bau neuer Hochspannungstrassen profitieren, oder von diesen als Referentinnen oder Referenten in Informations- oder Diskussionsveranstaltungen vorgeschlagen werden, haben bei Bürgerinnen und Bürgern von vorneherein einen schlechten Stand. Die Vorbehalte schlagen in offene Ablehnung um, wenn sich Elektroingenieure oder andere technisch orientierte Fachleute dazu hinreißen lassen, eigene Risikobewertungen abzugeben, Aussagen von Studien zitieren, die sie offensichtlich selbst nicht gelesen haben, oder versu-

chen, Risiken zu relativieren, indem sie darauf verweisen, dass es andere Risiken gibt, die von Expertinnen und Experten auf der Basis des versicherungsmathematischen Risikokonzepts höher eingeschätzt und von den Bürgerinnen und Bürgern trotzdem akzeptiert werden.

6 Grenzwerte und Vorsorgeempfehlungen

In diesem Kapitel werden zunächst die Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zur Vorgehensweise bei der Festsetzung von Grenzwerten vorgestellt. Anschließend wird kurz darauf eingegangen, ob und wie die International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) diesem Verfahrensvorschlag bei der Ableitung ihrer Empfehlungen für Grenzwerte für niederfrequente Felder folgt. Auf das Vorgehen der ICNIRP, einschließlich der Kritik daran, wird hier eingegangen, weil sich viele Länder, unter ihnen auch Deutschland, bei der Festlegung gesetzlicher Grenzwerte auf ihre Empfehlungen stützen. Anschließend werden die Begründungen für die Grenzwertempfehlungen der deutschen Strahlenschutzkommission und deren Vorsorgeempfehlungen diskutiert. Es folgen eine Übersicht über die in verschiedenen Ländern geltenden gesetzlichen Grenzwerte und Beispiele von Empfehlungen nichtstaatlicher Organisationen zu Vorsorgewerten.

6.1 WHO-Empfehlungen zur Vorgehensweise bei der Festsetzung von Grenzwerten

Die WHO hat Empfehlungen für das Verfahren zur Festsetzung von Grenzwerten auf der Basis wissenschaftlicher Befunde formuliert (WHO 2006a). Dieses ist in Abbildung 6.1 skizziert. Im Folgenden werden die einzelnen Verfahrensschritte erläutert.

Wissenschaftliche Datenbasis

Der erste Schritt besteht in der Festlegung der in dem Verfahren zu berücksichtigenden wissenschaftlichen Daten, das heißt, dass die folgenden Fragen zu beantworten sind:

- Welche möglichen Wirkungen einer Noxe, hier elektrischer und magnetischer Felder, sollen berücksichtigt werden? Sind nur tatsächliche Gesundheitsgefahren oder auch biologische Effekte zu betrachten, die möglicherweise gesundheitsrelevant sind oder zur Aufdeckung von Wirkungsmechanismen beitragen können?
- Welche Art von Untersuchungen sollen einbezogen werden? Sind nur epidemiologische und experimentelle Untersuchungen am Menschen oder auch tierexperimentelle und in vitro-Untersuchungen auszuwerten?
- Welche methodischen oder anderen Qualitätskriterien müssen die zu berücksichtigenden Studien erfüllen?

Risikoabschätzung

Grundlage der Risikoabschätzung sind Festlegungen bezüglich

- der Kriterien für die Bewertung von Studien, dazu können z.B. die inhaltliche Relevanz für den Prozess der Grenzwertfindung, die Qualität des Studiendesigns, der Studiendurchführung und der Berichterstattung, die Stärke statistischer Zusammenhänge (vor allem bei epidemiologischen Studien), die Konsistenz der Ergebnisse mit denen anderer Studien, das Vorliegen eines Dosis-Wirkungs-Mechanismus und das Vorhandensein eines Wirkungsmodells gehören;

- der den verschiedenen Studientypen zuzuweisenden Aussagekraft, eine wichtige Frage ist hier, wie epidemiologische Studien im Vergleich mit experimentellen Untersuchungen bewertet werden;
- der wissenschaftlichen Evidenz, die für eine Wirkung gegeben sein muss, damit diese bei der Bewertung möglicher gesundheitlicher Risiken berücksichtigt wird.

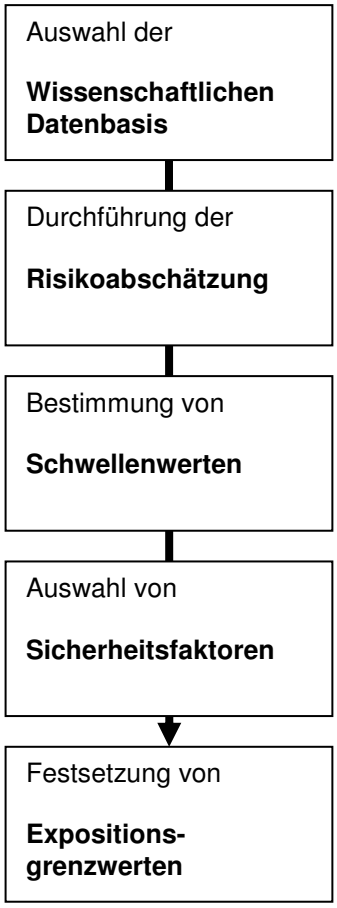

Abbildung 6.1
Verfahren zur Festsetzung von Grenzwerten (nach WHO 2006a: 9)

Schwellenwerte
Grenzwerte zum Schutz vor Gefahren für die Gesundheit durch eine Noxe können eigentlich nur festgelegt werden, wenn es einen Schwellenwert für die zugrundeliegenden Wirkungen gibt, das heißt wenn für die Noxe ein Wert für ihre Stärke identifiziert werden kann, unter dem kein biologischer Effekt festzustellen ist (biologischer Wirkungsansatz) oder die Wirkung so schwach ist, dass mit Gesundheitsgefahren nicht zu rechnen ist (Gefahrenansatz). In der Regel sind Schwellenwerte aufgrund unvollständigen Wissens nur mit mehr oder weniger großen Unsicherheiten festzulegen.

Sicherheitsfaktoren
Um möglichen Lücken und Unsicherheiten in den wissenschaftlichen Befunden zu begegnen, werden im Gesundheitsschutz Sicherheitsfaktoren angewandt, das heißt, dass ein Grenzwert nicht auf den Wert der Schwelle für die Wirkung der betrachteten Noxe, sondern

auf einen um einen Sicherheitsfaktor niedrigeren Wert festgesetzt wird. Mit den Sicherheitsfaktoren wird unter anderem versucht, unterschiedliche Empfindlichkeiten verschiedener Bevölkerungsgruppen, die Einflüsse der Expositionsdauer sowie von Ganz- und Teilkörper-Expositionen zu berücksichtigen und/oder Unsicherheiten bei der Festlegung der Schwellen aufgrund statistischer Schwankungen, bei der Übertragung von Ergebnissen aus Tierversuchen auf den Menschen, bei der Bestimmung von Dosen und bei der Beurteilung von Wechselwirkungen mit anderen Noxen zu begegnen. Je größer die Unsicherheit im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen Exposition und adverser Wirkung ist, umso größer sollte der Sicherheitsfaktor sein.

Expositionsgrenzwerte
Bei der Festsetzung von Grenzwerten für elektrische und magnetische Felder wird von der WHO das von der ICNIRP angewandte zweistufige Verfahren übernommen: Zunächst werden Basisgrenzwerte für die elektrischen Felder oder Ströme festgelegt, die im Körper durch das von außen einwirkende Feld erzeugt werden. Diese können nicht direkt gemessen werden und sind daher zur Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten nicht geeignet. Deshalb werden in einem zweiten Schritt Referenzwerte für die Stärke des äußeren Feldes vorgegeben, die im Inneren des Körpers zu elektrischen Feldern oder Strömen führen, die den Basisgrenzwerten entsprechen. Die Referenzwerte, also die gerade noch zulässigen Stärken der Felder, werden für die gut messbaren Größen 'Elektrische Feldstärke' und 'Magnetische Feldstärke' bzw. 'Magnetische Induktion' festgesetzt.

6.2 Grenzwertempfehlungen wissenschaftlicher Kommissionen

6.2.1 Vorgehen der ICNIRP bei der Ableitung ihrer Grenzwertempfehlungen

Bei der Festsetzung ihrer Grenzwertvorschläge werden von der ICNIRP nur die nach ihrer Auffassung als wissenschaftlich nachgewiesen geltenden und gut verstandenen akuten Wirkungen der Stimulation von Nerven- und Muskelzellen durch die von den Feldern direkt induzierte elektrischen Ströme und Spannungen bzw. elektrischen Felder sowie der Auslösung von Magnetophosphenen berücksichtigt. Die Nicht-Berücksichtigung der Befunde der epidemiologischen Studien, insbesondere auch derer zum Risiko von Leukämieerkrankungen bei Kindern mit erhöhten Expositionen gegenüber niederfrequenten Feldern, wird mit den niedrigen Risikofaktoren, methodischen Mängeln und vor allem dem Fehlen eindeutiger Befunde aus tierexperimentellen Untersuchungen, die die epidemiologische Befunde stützen, sowie eines nachgewiesenen Wirkungsmodells begründet. Bei den Ergebnissen experimenteller Untersuchungen werden als Argumente für deren Nicht-Berücksichtigung fehlende Replikationsexperimente, die Inkonsistenz von Befunden und das Fehlen eines Wirkungsmodells angeführt.

Ausgehend von der bekannten Schwelle für die Auslösung von Magnetophosphenen von 50 mV/m hat die ICNIRP für die Allgemeinbevölkerung für den Frequenzbereich von 10 bis 25 Hz für das zentrale Nervensystem einen Sicherheitsfaktor von 5 angesetzt und einen Ba-

sisgrenzwert von 10 mV/m empfohlen (s. Tab. 6.1). Bei der Netzfrequenz von 50 Hz liegt die Basisgrenzwert-Empfehlung der ICNIRP bei 20 mV/m.

Tabelle 6.1
ICNIRP-Empfehlung für Basisgrenzwerte für die Allgemeinbevölkerung für das körperinterne elektrische Feld
f: Frequenz [Hz]

Merkmale der Exposition	**Frequenzbereich**	**Internes elektrisches Feld [V/m]**
Kopf, Zentrales Nervensystem	1 Hz bis 10 Hz	0,1 / f
	10 Hz bis 25 Hz	0,01
	25 Hz bis 1000 Hz	$4 \times 10^{-4} \times f$
	1000 Hz bis 3 kHz	0,4
	3 kHz bis 10 MHz	$1{,}35 \times 10^{-4} \times f$
Kopf und Körper, alle Gewebe	1 Hz bis 3 kHz	0,4
	3 kHz bis 10 MHz	$1{,}35 \times 10^{-4} \times f$

Die Empfehlungen der ICNIRP für Werte zur Begrenzung der Exposition gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern basieren auf Berechnungen der von einem äußeren Feld im Körperinneren erzeugten elektrischen Felder. Die Grenzwerte (Referenzwerte) werden als die Werte für die Stärken des elektrischen bzw. des magnetischen Feldes festgesetzt, bei denen im Körperinneren die Basisgrenzwerte bei 'optimaler' Ankopplung des äußeren Feldes an den Körper erreicht würden. Zur Begrenzung der Expositionen der Allgemeinbevölkerung gegenüber Feldern mit 50 Hz-Netzfrequenz empfiehlt die ICNIRP einen Grenzwert für das elektrische Feld von 5 kV/m und für das magnetische Feld von 200 µT.

Kommentar

In der Diskussion über die Grenzwertempfehlungen der ICNIRP werden vor allem die folgenden Kritikpunkte immer wieder genannt (s. z.B. BioInitiative 2012, Hutter & Kundi 2013, Kühling 2013, Neitzke 2013):

- Die Festsetzung der Grenzwerte erfolgte allein anhand der wissenschaftlichen Erkenntnisse zu akuten biologischen Wirkungen, die nach den Kriterien der ICNIRP als nachgewiesen gelten (reproduzierte wissenschaftliche Untersuchungsergebnisse, akzeptiertes biophysikalisches Wirkungsmodell). Die Möglichkeit, dass niederfrequente Magnetfelder zu erhöhten Risiken für chronische Erkrankungen führen können, wurde bei der Festsetzung der Grenzwerte nicht berücksichtigt, obwohl es eine konsistente epidemiologische Evidenz für und andere Hinweise auf eine krebserregende Wirkung im Bereich sehr niedriger Flussdichten gibt, die seitens der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC, s. 5.1.1) eine kausale Interpretation zulassen.
- Die von der ICNIRP angesetzten Sicherheitsfaktoren für niederfrequente elektrische und magnetische Felder sind im Vergleich mit in der Toxikologie üblichen Sicherheitsfaktoren von 100 bis 3000 (Hutter & Kundi 2013: 26) sehr niedrig.

Eine aktuelle Untersuchung (Chen et al. 2013) macht zudem methodische Mängel bei der Ableitung der Grenzwerte, wie sie von der ICNIRP vorgenommen wird, deutlich. Das Problem besteht darin, dass in Herz und Gehirn, den im Hinblick auf die von der ICNIRP berücksichtigten akuten Wirkungen sensibelsten Teilen des Körpers, eine direkte Messung des elektrischen Feldes als Basisgröße nicht möglich ist. Daher ist man bei der Ableitung der Grenzwerte für das elektrische und das magnetische Feld aus den kritischen Werten für die Basisgröße auf numerische Simulationen angewiesen. Das bedeutet, dass z.B. das Gehirn in einem Computermodell nachgebildet und berechnet wird, wie stark das elektrische Feld ist, das in diesem Gehirnmodell durch ein Magnetfeld einer bestimmten Frequenz erzeugt wird. Die Ergebnisse der Untersuchungen von Chen et al. zeigen, dass die berechnete Stärke des körperinternen elektrischen Feldes sehr kritisch davon abhängt, mit welcher räumlichen Auflösung die Modelle arbeiten und ob sie die anatomische Verteilung von Gewebe unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeit richtig abbilden. Chen et al. stellen fest, dass einfache Frequenzskalierungen zu erheblichen Fehlern führen können, wenn sich die Leitfähigkeit des Gewebes im betrachteten Frequenzbereich signifikant ändert. Eine einfache Frequenzskalierung wird auch von der ICNIRP angewandt, indem sie Formeln vorgibt, nach denen die Basisgrenzwerte für die interne Feldstärke einfach über die Frequenz berechnet werden (s. Tab. 6.1). Die von Chen et al. mit verbesserten anatomischen Modellen durchgeführten Berechnungen zeigen, dass die mit den bisherigen, auch von der ICNIRP angewendeten, Verfahren aus den Grenzwerten für die Basisgrößen abgeleiteten Grenzwerte für die äußeren Felder nicht in jedem Fall gewährleisten, dass die Basisgrenzwerte im Gehirn nicht überschritten werden. Die Autoren empfehlen aufgrund der Ergebnisse ihrer Untersuchungen eine Revision der Grenzwertempfehlungen.

6.2.2 Grenzwert- und Vorsorgeempfehlungen der Strahlenschutzkommission

Die Strahlenschutzkommission (SSK) kommt in ihren Empfehlungen zum Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und -anwendung aus dem Jahr 2008 zu dem Schluss,
"…, dass auch nach Bewertung der neueren wissenschaftlichen Literatur keine wissenschaftlichen Erkenntnisse in Hinblick auf mögliche Beeinträchtigungen der Gesundheit durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder vorliegen, die ausreichend belastungsfähig wären, um eine Veränderung der bestehenden Grenzwertregelung der 26. BImSchV zu rechtfertigen." (SSK 2008: 3)

Aus der Analyse der vorliegenden wissenschaftlichen Literatur ergeben sich nach Einschätzung der SSK auch keine ausreichenden Belege, um zusätzliche verringerte Vorsorgewerte zu empfehlen, von denen ein quantifizierbarer gesundheitlicher Nutzen zu erwarten wäre (SSK 2008:3). Die SSK begründet dies damit, dass die Ergebnisse epidemiologischer Studien über einen möglichen Zusammenhang zwischen Leukämieerkrankungen von Kindern und Magnetfeldexpositionen weder durch Laborstudien (in vitro und in vivo) noch durch Wirkungsmodelle unterstützt werden und daher zu wenig gesichert sind, um Grenzwertregelungen zu rechtfertigen (SSK 2008: 4).

Angesichts der bestehenden Unsicherheiten spricht sich die SSK jedoch für die Beachtung des Minimierungsgebots aus (SSK 2008: 5). Sie bekräftigt ihre Empfehlung aus dem Jahr 2001, die bestehenden Expositionsgrenzwerte nicht völlig auszuschöpfen (SSK 2001). Immissionen von ortsfesten Anlagen zur Energieversorgung sollten an Orten, die der Öffentlichkeit zugänglich sind, deutlich unterhalb der bestehenden Grenzen für die Gesamtexposition gehalten werden. Dies sollte insbesondere bei Wohnbereichen und Räumlichkeiten beachtet werden, die für den nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen der Allgemeinbevölkerung vorgesehen sind. Bei der Bewertung der Immissionen durch ortsfeste Anlagen zur Energieversorgung sollten alle vorhandenen Feldquellen berücksichtigt und daher z.B. auch die Beiträge der Immissionen häuslicher Feldquellen einbezogen werden. Bei Planung, Herstellung und Betrieb von ortsfesten Anlagen zur Energieversorgung sollten, so die Empfehlung der SSK, Maßnahmen ergriffen werden, um Expositionen durch elektrische und magnetische Felder im Rahmen der technischen und wirtschaftlich sinnvollen Möglichkeiten zu minimieren.

Mit Blick auf die steigende Anzahl von Personen mit aktiven Implantaten (z.B. Herzschrittmacher und Defibrilatoren) sieht die SSK Handlungsbedarf bei der Vermeidung bzw. Verringerung von Störbeeinflussungssituationen im Alltag (SSK 2008: 5). Zur Vermeidung der Störbeeinflussung von elektronischen Implantaten sollten ortsfeste Anlagen zur Energieversorgung mit der Frequenz 50 Hz und der Bahnfrequenz 16 2/3 Hz so geplant, errichtet und betrieben werden, dass auch bei höchster betrieblicher Auslastung die von einer Anlage emittierten magnetischen Felder die empfohlenen Grenzen nicht überschreiten. In Bereichen, die Implantat-Trägern zugänglich sind, und bei denen Feldquellen, die nicht sichtbar bzw. bei denen ein Exposition-vermeidendes Verhalten nicht möglich oder nicht zumutbar ist, sollten folgende Werte nicht überschritten werden:

– in Bereichen, in denen mit zusätzlichen Feldquellen gerechnet werden muss (z.B. Wohnanlagen, Seniorenheime, Krankenhäuser): 10 µT (50 Hz) bzw. 30 µT (16 2/3 Hz),
– in Bereichen, in denen Einträge zusätzlicher Feldquellen nicht zu erwarten und Feldquellen (z.B. Erdkabel) nicht sichtbar bzw. nicht entsprechend gekennzeichnet sind: 15 µT (50 Hz) bzw. 45 µT (16 2/3 Hz).

Bei ortsfesten Gleichstrom-Energieversorgungsanlagen sollte auch bei höchster betrieblicher Auslastung der Wert von 500 µT nicht überschritten werden.

<u>Kommentar</u>

In der Frage der Grenzwerte argumentiert die Strahlenschutzkommission wie die ICNIRP. Deshalb bestehen auch dieselben Vorbehalte ihren Empfehlungen gegenüber. Kritisiert wird insbesondere die starke Relativierung der Befunde der epidemiologischen Studien zum Risiko von Leukämieerkrankungen bei Kindern im Zusammenhang mit Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern: "Noch 2001 formulierte die SSK: 'Für die Erfassung möglicher Risiken sind epidemiologische Studien von besonderer Bedeutung' [SSK2001]. 2011 formuliert die SSK nahezu entgegengesetzt: '...die überproportionale Gewichtung epidemiologischer Befunde wird von der SSK nicht unterstützt' [SSK2011]." (BI Quickborn 2012, Literaturverweise im Original in […], s. SSK 2001: 21, SSK 2011: 61).

Auch an der Zusammensetzung der SSK wird gelegentlich Kritik geäußert, die sich jedoch vor allem an einzelnen Personen bzw. an ihrem Auftreten in der Diskussion über Risiken durch elektromagnetische Felder (s. z.B. Adlkofer & Richter 2011) und weniger am Berufungsverfahren durch das Bundesministerium für Umwelt-, Naturschutz und Reaktorsicherheit festmacht.

6.3 Gesetzliche Grenzwerte in verschiedenen Ländern

Zum Schutz der Bevölkerung vor zu hohen Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern hat Deutschland und haben andere Länder, vor allem in Europa, Sicherheits- oder Immissionsgrenzwerte festgesetzt. Diese tragen oftmals nur den Erkenntnissen über die Risiken akuter Wirkungen in starken Feldern Rechnung. Aufgrund der zum Teil deutlichen Hinweise auf negative physiologische Wirkungen und Risiken für chronische Erkrankungen (s. Kap. 3) haben aber einige Länder deutlich niedrigere Vorsorgewerte festgelegt (s. Kap. 6.3.2, 6.3.3).

Viele Staaten orientieren sich bei der Festsetzung von Grenzwerten an den Empfehlungen der WHO (WHO 2006a, b), die sich ihrerseits auf die Grenzwert-Empfehlungen der ICNIRP stützt (ICNIRP 1998, 2009, 2010, s.o.). In Tabelle 6.2 ist für ausgewählte europäische Länder und die USA zusammengestellt, ob es gesetzliche Vorschriften zum Schutz der Allgemeinbevölkerung gibt und, wenn ja, auf welcher Grundlage diese festgelegt wurden (eine Übersicht über gesetzliche Regelungen zur Begrenzung elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Expositionen findet sich auf der Internet-Seite des EMF-Projekts der Weltgesundheitsorganisation (www/WHO).

Im Folgenden werden die für Deutschland nach Änderung der 26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (26. BImSchV) seit August 2013 sowie die in Russland und in der Schweiz geltenden Grenzwerte gegenübergestellt. Deutschland ist ein Beispiel für ein Land, dessen Grenzwerte weitgehend auf den aktuellen Empfehlungen der ICNIRP basieren. Die Schweiz hat 1999 die damaligen Empfehlungen der ICNIRP in Form von Immissionsgrenzwerten übernommen, hat aber zusätzlich für Orte, an denen sich Menschen längere Zeit aufhalten, vorsorgeorientierte Anlagegrenzwerte eingefügt. Die Schweiz verfügt damit für Daueraufenthaltsbereiche über eine der strengsten rechtsverbindlichen Regelungen weltweit. In Russland wurden den Grenzwerten Empfehlungen nationaler wissenschaftlicher Gremien zugrunde gelegt.

Tabelle 6.2
Gesetzliche Grenzwertregelungen für den Niederfrequenzbereich in ausgewählten europäischen Ländern und den USA

Land	**Vorhandensein gesetzlicher Grenzwerte**	**Grundlage der gesetzlichen Grenzwerte**	**Bemerkungen**
Belgien	ja	ICNIRP-Empfehlungen	
Dänemark	nein		Expositionsbewertung anhand der ICNIRP-Empfehlungen
Deutschland	ja	ICNIRP-Empfehlungen	s.u.
EU	(ja)	ICNIRP-Empfehlungen	Empfehlungen für gesetzliche Grenzwerte in den Mitgliedsstaaten
Finnland	ja	ICNIRP-Empfehlungen	
Frankreich	nein		
Großbritannien	nein		Expositionsbewertung anhand NRPB-Richtlinien
Irland	ja	ICNIRP-Empfehlungen	
Italien	ja	Sicherheitsgrenzwerte: ICNIRP-Empfehlungen	zusätzlich 50 Hz-Aufmerksamkeitswert für Daueraufenthaltsbereiche: 10 µT
Niederlande	nein		
Österreich	nein		Expositionsbewertung anhand ÖNorm, vergleichbar ICNIRP
Polen	ja		Grenzwerte niedriger als ICNIRP-Empfehlungen
Russland	ja	Empfehlungen des Russischen Nationalen Komitees zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung	s.u.
Schweden	nein		Empfehlungen zur Expositionsbegrenzung, entsprechend ICNIRP-Empfehlungen
Schweiz	ja	Immissionsgrenzwerte: ICNIRP-Empfehlungen	zusätzlich vorsorgeorientierte Anlagegrenzwerte, s.u.
Spanien	ja	ICNIRP-Empfehlungen	
Tschechien	ja	ICNIRP-Empfehlungen	
USA	nein		Vorschriften in einzelnen Bundesstaaten

6.3.1 Deutschland

Durch die Änderung der 26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz wurden Lücken in der Grenzwertfestsetzung geschlossen (BMU 2013). Die in Deutschland für statische Felder und solche mit extrem niedrigen bis hin zu mittleren Frequenzen geltenden Grenzwerte sind in Tabelle 6.3 aufgeführt. Die Grenzwerte beruhen auf den Empfehlungen der Strahlenschutzkommission, die sich bei ihren Bewertungen und bei der Abgabe von Empfehlungen schon seit Jahren stark an der ICNIRP orientiert (s.o.).

Zum Schutz der Allgemeinbevölkerung wurden die Grenzwerte um einen frequenzabhängigen Faktor niedriger angesetzt als die bekannten Schwellenwerte für akute Schädigungen. Mit dem Faktor soll interindividuellen Unterschieden (bedingt durch Alter, Geschlecht, Kör-

pergröße, Gesundheitszustand usw.) und Unsicherheiten in Bezug auf die Bestimmung der durch äußere Felder im Körperinneren verursachten elektrischen Felder Rechnung getragen werden.

Tabelle 6.3
Gesetzliche Grenzwerte für statische und niederfrequente elektrische und magnetische Felder in Deutschland (26. BImSchV)

Frequenz (f) [Hz]	**Grenzwerte**		**Bemerkung**
	Elektrische Feldstärke [V/m] (effektiv)	Magnetische Flussdichte [µT] (effektiv)	
0	-	500	
1 – 8	5.000	40.000 / f^2	
8 – 25	5.000	5.000 / f	
25 – 50	5.000	200	50 Hz-Niederfrequenz-anlagen: 100 µT
50 – 400	250.000 / f	200	
400 – 3.000	250.000 / f	80.000 / f	
3.000 – 10.000.000	83	27	

6.3.2 Russland

Die derzeit in Russland geltenden Grenzwerte wurden im Jahr 1999 in dem Gesetz zum Schutz der Bevölkerung festgelegt. Sie beruhen auf Empfehlungen des Russischen Nationalen Komitees zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung. Die russischen Grenzwerte für 50 Hz-Felder sind einen Faktor 10 niedriger als die deutschen (s. Tab. 6.4)

Tabelle 6.4
Gesetzliche Grenzwerte für statische und niederfrequente elektrische und magnetische Felder und den Bereich mittlerer Frequenzen in Russland

Frequenz (f)	**Grenzwerte**	
	Elektrische Feldstärke [V/m]	Magnetische Flussdichte [µT]
0	15.000	-
50 Hz	500	10
30 – 300 kHz	25	
0,3 – 3 MHz	15	
3 – 30 MHz	10	

6.3.3 Schweiz

Im Jahr 1999 hat der Schweizerische Bundesrat die Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) verabschiedet (Schweizerischer Bundesrat 1999). Die seinerzeit von der ICNIRP empfohlenen Grenzwerte wurden als so genannte Immissionsgrenzwerte in die NISV übernommen (s. Tab. 6.5). Diese sollen vor den wissenschaftlich allgemein anerkannten Gesundheitsauswirkungen nicht-ionisierender Strahlung schützen. Die Immissionsgrenzwerte begrenzen die Summe aller Felder, die an einem Ort vorhanden sind. Sie müssen überall eingehalten sein, wo sich Menschen – auch nur kurzfristig – aufhalten können.

Tabelle 6.5
Gesetzliche Grenzwerte für niederfrequente elektrische und magnetische Felder in der Schweiz

Frequenz (f)	**Immissionsgrenzwerte**	
	Elektrische Feldstärke [V/m] (effektiv)	Magnetische Flussdichte [µT] (effektiv)
< 1 Hz	-	40.000
1 – 8 Hz	10.000	$40.000 / f^2$
8 – 25 Hz	10.000	5.000 / f
0,025 – 0,8 kHz	250 / f	5 / f
0,8 – 3 kHz	250 / f	6,25
3 – 150 kHz	87	6,25
0,15 – 1 MHz	87	0,92 / f
1 – 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	0,92 / f

Im Sinne des vorsorgenden Gesundheitsschutzes wurden in der NISV basierend auf einer Bewertung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes durch das Bundesamt für Umwelt (ehemals Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) zusätzlich strengere Anlagegrenzwerte festgelegt, mit denen vor allem die Langzeitbelastung niedrig gehalten werden soll. Gründe hierfür waren Hinweise auf biologische Wirkungen im Dosisbereich unterhalb der Immissionsgrenzwerte, insbesondere Langzeitwirkungen, und das Vorsorgeprinzip des Umweltschutzgesetzes, das verlangt, dass die Belastung grundsätzlich so niedrig sein soll, wie es technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Die Anlagegrenzwerte liegen deutlich unter den Immissionsgrenzwerten. Sie gelten für die von einer einzelnen Anlage verursachten Immissionen und müssen dort eingehalten werden, wo sich Menschen längere Zeit aufhalten (z.B. in Wohnungen, Schulen, Krankenhäusern, Büros, auf Kinderspielplätzen usw.).

Für Anlagen, die zu extrem niederfrequenten magnetischen Immissionen führen, wurde in der NISV ein Anlagegrenzwert von **1 µT** festgesetzt. Dieser gilt für:

- Frei- und Kabelleitungen zur Übertragung von elektrischer Energie mit einer Nennspannung vom mindestens 1.000 V,
- Anlagen zur Transformation zwischen verschiedenen Hochspannungsebenen sowie für Hochspannungsschaltanlagen und
- Fahrleitungsanlagen von Eisen- und Straßenbahnen, die mit Wechselstrom betrieben werden.

6.4 Vorsorgeempfehlungen nichtstaatlicher Organisationen

Die aus ihrer Sicht unbefriedigende Situation, dass in den meisten Ländern Grenzwerte gelten, bei deren Festsetzung allein akute gesundheitliche Wirkungen relativ starker Felder berücksichtigt wurden, hat dazu geführt, dass wissenschaftliche Expertengremien, Umweltverbände und andere nichtstaatliche Organisationen ihrerseits Vorsorgewerte vorgeschlagen haben. Nicht alle diese Vorschläge sind wissenschaftlich begründet. Im Folgenden wird nur auf zwei Vorschläge für den Niederfrequenzbereich eingegangen, die auf Auswertungen der vorliegenden wissenschaftlichen Forschungsergebnisse basieren.

6.4.1 BioInitiative Working Group

Die Mitglieder der BioInitiative Working Group (s. 5.1.4) haben den wissenschaftlichen Erkenntnisstand aus- und bewertet und, stark orientiert am Vorsorgegedanken, eine Grenzwertempfehlung für extrem niederfrequente magnetische Felder (u.a. 50 Hz-Felder) ausgesprochen (BioInitiative Working Group 2012). Der von der BioInitiative empfohlene Vorsorgewert liegt bei **0,1 µT**. Soweit sich dies aus dem Bericht der BioInitiative Working Group herauslesen lässt, wurde dieser Wert gewählt, weil er unterhalb der Werte liegt, bei denen in epidemiologischen Studien erhöhte Risiken für Leukämieerkrankungen bei Kindern festgestellt wurden (s. Kap. 3.2).

6.4.2 Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland

Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) hatte in der Vergangenheit einen Vorsorgewert für extrem niederfrequente magnetische (50 Hz-) Felder in Höhe von 0,1 µT empfohlen. Diese Empfehlung wurde durch eine Arbeitsgruppe revidiert (BUND 2013). Die aktuelle Empfehlung des BUND für einen Grenzwert für extrem niederfrequente magnetische (50 Hz-) Felder liegt bei **0,01 µT**. Nach Auffassung der BUND-Arbeitsgruppe "... kann – neben anderen Wirkungen – das erhöhte Leukämierisiko ab etwa 0,2 µT als Schwelle zu einer adversen Wirkung (#) angesehen werden, die zur Ableitung eines ausreichenden Schutzes oder der Vorsorge vor schädlichen Umwelteinwirkungen herangezogen werden kann." (BUND 2013: 8; #: Verweis auf eine Abbildung, die das Ergebnis einer vom ECOLOG-Institut durchgeführten Auswertung wissenschaftlicher Studien im Hinblick auf die wissenschaftliche Evidenz für biologische Wirkungen in Abhängigkeit von der magnetischen Flussdichte zeigt). Der vom BUND empfohlene Grenzwert ergibt sich aus dem angenommenen Schwellenwert von 0,2 µT bei Anwendung eines Sicherheitsfaktors von 20 (BUND 2013: 11).

6.5 Fazit

Die derzeit in Deutschland geltenden Grenzwerte für niederfrequente elektrische und magnetische Felder beruhen auf Empfehlungen der ICNIRP, die auch aus Sicht der SSK ausreichend sind, um den Schutz der Bevölkerung vor wissenschaftlich erwiesenen Gesundheitsgefahren zu gewährleisten. Die Grenzwerte wurden anhand der für einige Frequenzbereiche bekannten Schwellen für akut auftretende Schädigungen des Organismus bzw. für körperliche Beeinträchtigungen festgelegt. Die Grenzwerte für Frequenzbereiche, in denen solche Daten nicht vorliegen, wurden durch Extrapolation bestimmt.

Das Verfahren zur Bestimmung der Grenzwerte und ihre Höhe werden von Bürgerinitiativen und Umweltverbänden, aber auch von wissenschaftlicher Seite, unter anderem kritisiert, weil

- der Festsetzung der Grenzwerte nur die Schwellen für akute biologische Wirkungen zugrundegelegt wurden,
- die weitgehend konsistente epidemiologische Evidenz für eine krebserregende Wirkung im Bereich sehr niedriger magnetischer Flussdichten nicht angemessen berücksichtigt wurde,

- die von der ICNIRP angesetzten Sicherheitsfaktoren für niederfrequente elektrische und magnetische Felder im Vergleich mit in der Toxikologie üblichen Sicherheitsfaktoren sehr niedrig sind und
- die mathematischen Modellierungen des menschlichen Körpers, anhand derer die Expositionsgrenzwerte aus den Werten für die kritischen elektrischen Feldstärken im Körper (Basisgrenzwerte) abgeleitet werden, zu ungenau sind, was in einigen Frequenzbereichen zu überhöhten Grenzwerten führen kann.

Aufgrund der relativ starken epidemiologischen Evidenz für ein erhöhtes Leukämierisiko bei Kindern, die gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern exponiert sind, und einer gewissen Evidenz für andere gesundheitsrelevante Wirkungen auch unterhalb der Schwellen für die bekannten akuten Wirkungen, haben einige Länder, abweichend von der Mehrzahl der Länder, niedrigere Grenz- oder zusätzliche Vorsorgewerte zum Schutz der Bevölkerung festgelegt. In der Schweiz gibt es für 50 Hz-Felder neben dem Immissionsgrenzwert von 100 µT, der dem deutschen Grenzwert entspricht, einen vorsorgeorientierten Anlagegrenzwert von 1 µT, auf den die von einzelnen Anlagen in Daueraufenthaltsbereichen von Menschen verursachten Immissionen zu begrenzen sind.

Kritische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und Umweltverbände fordern noch wesentlich niedrigere Grenzwerte, um dem in epidemiologischen Studien bei Kindern beobachteten Anstieg des Leukämierisikos ab ca. 0,3 µT zu begegnen.

7 Empfehlungen

7.1 Risikobewertungs- und -managementprozess

In Abbildung 7.1 ist der idealtypische Ablauf eines Risikosteuerungsprozesses dargestellt, wie er vom International Risk Governance Council entworfen wurde (IRGC 2005, 2008).
In Phase 1 (Pre-Assessment) werden die Rahmenbedingungen für die Risikobewertung festgelegt. Das zu betrachtende Risiko wird definiert, es wird festgelegt, welche Wirkungsketten und Schutzgüter betrachtet werden sollen, die Verfahrensschritte werden bestimmt und die Kriterien für die Risikobewertung werden festgelegt.

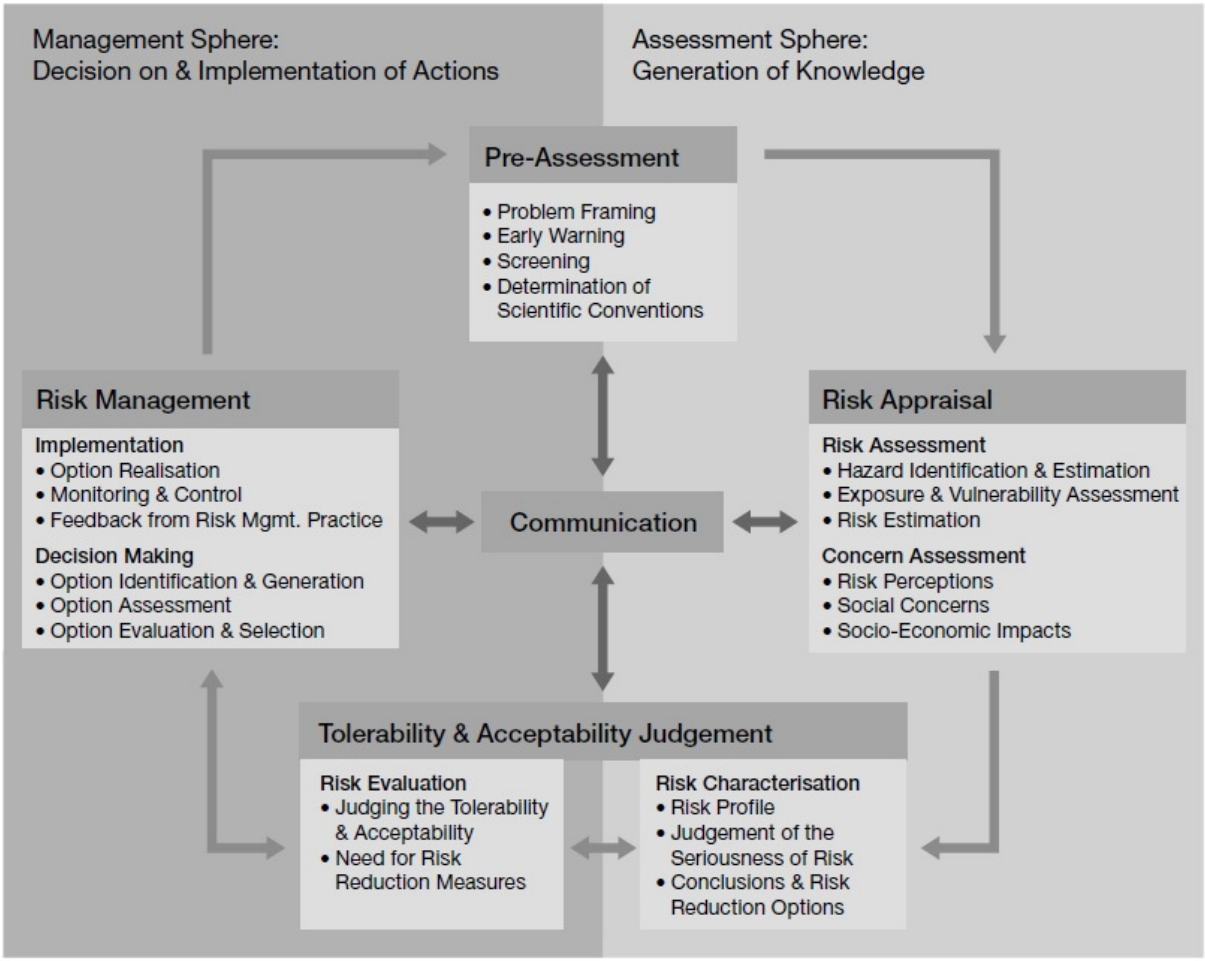

Abbildung 7.1
Risk Governance Modell des IRGC (IRGC 2005)

Phase 2 (Risk Appraisal) umfasst neben der Risikoabschätzung (Risk Assessment) die Abschätzung der Betroffenheit (Concern Assessment), insbesondere eine Auseinandersetzung mit der Risikowahrnehmung in der Bevölkerung. Das heißt, dass zum einen die physischen Risiken und zum anderen die Belange möglicher Risikoträger zu analysieren sind.
In Phase 3 (Tolerability & Acceptability Judgement) sollen, den Vorstellungen des IRGC zufolge, die wissenschaftliche Evidenz einerseits und die gesellschaftlichen Werte und Einstel-

lungen andererseits zu einer Bewertung der Akzeptabilität zusammengeführt werden. Das heißt, es ist zu entscheiden, ob ein Risiko

- akzeptierbar (das Risiko wird eingegangen, Maßnahmen zu seiner Verminderung sind unnötig),
- tolerierbar (das Risiko muss eingegangen werden, weil die Vorteile überwiegen oder weil Maßnahmen zur Vermeidung des Risikos zu teuer sind, Maßnahmen zur Risikoverminderung werden in Betracht gezogen) oder
- nicht tolerierbar ist (das Risiko muss vermieden werden oder, wenn dies nicht möglich ist, sind Maßnahmen zur Verminderung des Risikos zwingend erforderlich)

In Phase 4 (Risk Management) geht es um die Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen zur Verminderung eines nicht tolerierbaren und eventuell auch eines tolerierbaren Risikos.

Ein wesentliches Element in dem vom IRGC entworfenen Modell eines Risikosteuerungsprozesses ist die Beteiligung der verschiedenen Interessenvertreter (Stakeholder) in jeder Phase des Prozesses (IRGC 2005: 54ff). Das betrifft sowohl die Analyse der Risiken als auch die Entscheidungen über ihre Akzeptabilität und ggf. Maßnahmen zur Risikoverminderung. In der Abbildung zum IRGC-Risikosteuerungsmodell (s. Abb. 7.1) wird dies durch die zentrale Position der Risikokommunikation verdeutlicht. Unter Risikokommunikation versteht der IRGC mehr als die Bevölkerung oder betroffene Bevölkerungsgruppen über ein Risiko oder eine Entscheidung zum Risikomanagement zu informieren. Erforderlich ist vielmehr ein bidirektionaler Dialog in allen Phasen des Prozesses. Es geht darum, alle einzubeziehen, die mit ihrem Wissen dazu beitragen können, auf der Basis aller verfügbaren Informationen und unter Berücksichtigung verschiedener, auch kontroverser, Standpunkte sachgerechte Bewertungen und angemessene Entscheidungen zu treffen, sowie darum, der möglichen Betroffenheit durch das Risiko oder durch Maßnahmen zu seiner Minimierung von Bevölkerungs- oder Interessengruppen Rechnung zu tragen.

Der in Deutschland im Zusammenhang mit der Bewertung und dem Management der Risiken durch die Felder von Hochspannungsleitungen tatsächlich ablaufende Prozess ist von dem IRGC-Modell weit entfernt. Das gilt gerade auch für die Festlegung der Grenzwerte, dem rechtlich wirkungsvollsten Instrument zur Begrenzung von Gefahren durch eine Noxe. Die Festlegung der Rahmenbedingungen für die Risikobewertung, die Risikobewertung und die Entscheidung darüber, welche Feldstärken noch tolerierbar sind, werden faktisch wissenschaftlichen Experten in Gestalt der ICNIRP überlassen. Diese vertritt zudem nur einen Teil des wissenschaftlichen Spektrums. Die Belange möglicher Risikoträger und anderer, vor allem nicht-wirtschaftlicher, Interessengruppen werden erst im Rahmen des Gesetzgebungsverfahrens zur Kenntnis genommen.

Das Beispiel der britischen Stakeholder Advisory Group on ELF EMFs (s. 5.1.6) zeigt, dass es durchaus möglich ist, einen gesellschaftlich breit angelegten Prozess zur Diskussion über Risiken durch elektrische und magnetische Felder und deren Vermeidung bzw. Verminderung zu organisieren.

Die Einrichtung eines EMF-Gesundheitsrates, in dem die verschiedenen Interessengruppen und wissenschaftlichen Sichtweisen vertreten sind, dessen Beratungen Interessierte z.B. per Internet verfolgen und an den sie Vorschläge richten können, könnte dazu beitragen, zu ei-

ner Risikobewertung zu kommen, der große Teile der Bevölkerung vertrauen. Das Aufgabenspektrum des Rates sollte von der Beurteilung der Risiken durch die von Stromversorgungsanlagen ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder, über die Definition von Kriterien für die Akzeptabilität von Stromversorgungsanlagen bis zur Entwicklung von Vorschlägen zur Verminderung möglicher Risiken reichen. Das Wissen wissenschaftlicher Expertinnen und Experten ist für die Bewertung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes zu möglichen Risiken durch elektrische und magnetische Felder unverzichtbar. Aber bereits in der Phase der Festlegung der Rahmenbedingungen für die Risikobewertung (Phase 1, s.o.) muss eine breitere gesellschaftliche Beteiligung sichergestellt werden. Bei der Entscheidung, welche Risiken oder konkret Feldstärken der Rat für akzeptabel oder tolerierbar hält, sollten wissenschaftliche Expertinnen und Experten nur in beratender Funktion einbezogen werden.

7.2 Grenz- und Vorsorgewerte

Die 26. BImSchV wurde gerade erst geändert. Für 50 Hz-Felder wurden die Grenzwerte, zumindest soweit sie von Hochspannungsanlagen verursachte werden, nicht verändert. Es ist nicht davon auszugehen, dass die Grenzwerte in absehbarer Zeit abgesenkt werden. Die Einhaltung des Grenzwertes für niederfrequente Magnetfelder von 100 µT gewährleistet jedoch aus Sicht vieler gesellschaftlicher Akteure sowie einer nicht kleinen und aufgrund ihrer Qualifikation nicht zu ignorierenden Zahl von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern unter Vorsorgegesichtspunkten keinen hinreichenden Schutz der gegenüber den Feldern von Hochspannungstrassen exponierten Bevölkerung. Eine deutliche Verbesserung im Sinne eines vorsorgenden Gesundheitsschutzes würde die Umsetzung des Vorschlags aus dem Bundesamt für Strahlenschutz bringen, den Beitrag neuer oder wesentlicher veränderter Hochspannungsleitungen soweit zu begrenzen, dass die durch den Betrieb von elektrischen Geräten und Anlagen ohnehin vorhandene Hintergrundbelastung nicht wesentlich erhöht wird. Dies würde auf einen faktischen anlagebezogenen Vorsorge- oder Beurteilungswert von 0,1 µT hinauslaufen.

7.3 Forschung

In den Kapiteln 3 und 4 wurde auf Forschungsdefizite hingewiesen. Priorität wird bei den folgenden Untersuchungsgegenständen und -verfahren gesehen, wobei noch einmal nach höchster (A) und hoher (B) Priorität unterschieden wird:

- Primäre biophysikalische Wirkungsmechanismen und physiologische Wirkungspfade für statische und niederfrequente elektrische und magnetische Felder:
    - Koordinierte *in vitro*- und experimentelle *in vivo*-Untersuchungen (A)
- Risiko für Leukämieerkrankungen durch Expositionen gegenüber niederfrequenten magnetischen Feldern:
    - Experimentelle Untersuchungen an geeigneten Tiermodellen (A)
- Risiko für andere Krebserkrankungen bei Kindern und Erwachsenen durch Expositionen gegenüber niederfrequenten magnetischen Feldern:
    - Epidemiologische Risikostudie für Bevölkerungsgruppen mit erhöhten Expositionen am Arbeitsplatz oder durch Stromversorgungs- und Bahnanlagen (A)

    - Experimentelle Untersuchungen an geeigneten Tiermodellen (B)
- Risiko für Leukämie- und andere Krebserkrankungen durch Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen Feldern:
    - Epidemiologische Risikostudie für Bevölkerungsgruppen mit erhöhten Expositionen am Arbeitsplatz oder durch Stromversorgungs- und Bahnanlagen (B)
    - Experimentelle Untersuchungen an geeigneten Tiermodellen (B)
- Risiko für neurodegenerative Erkrankungen durch Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern:
    - Epidemiologische Risikostudie für Bevölkerungsgruppen mit erhöhten Expositionen am Arbeitsplatz oder durch Stromversorgungs- und Bahnanlagen (A)
    - Experimentelle Untersuchungen an geeigneten Tiermodellen (A)
- Gentoxische Effekte durch niederfrequente magnetische Felder:
    - Klinische Studien für Bevölkerungsgruppen mit erhöhten Expositionen am Arbeitsplatz (B)
    - Vergleichende *in vitro*-Untersuchungen für verschiedene Zelltypen (A)
- Epigenetische (potenziell transgenerationale) Effekte durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder, das heißt adverse Auswirkungen von Expositionen, die an folgende Generationen weitergegeben werden können, ohne dass die Expositionen zu Veränderungen der DNA-Sequenz führen:
    - Mehrgenerationenuntersuchungen an geeigneten Tiermodellen (B)

Literatur

Adlkofer F. & Richter K. 2011: Strahlenschutz im Widerspruch zur Wissenschaft. Wirkungen des Mobil- und Kommunikationsfunks. Schriftenreihe der Kompetenzinitiative zum Schutz von Mensch, Umwelt und Demokratie e.V., Heft 5

AEE (Agentur für Erneuerbare Energien) 2012: Bürger stehen weiterhin hinter dem Ausbau der Erneuerbaren Energien. Akzeptanzumfrage 2012. http://www.unendlich-viel-energie.de/fileadmin/content/Renews%20Kompakt/aee_RenewsKompakt_Akzeptanz-umfrage2012.pdf [15.01.2013]

Ahlbom A. 2001: Neurodegenerative diseases, suicide and depressive symptoms in relation to EMF. Bioelectromagnetics Suppl. 5: S132-S143

Ahlbom A., Cardis E., Green A., Linet M., Savitz D. & Swerdlow A. (ICNIRP) 2001: Review of the epidemiologic literature on EMF and health. Environ. Health Persp. 109 (Suppl. 6): 911-933

Ahlbom A., Day N., Feychting M., Roman E., Skinner J., Dockerty J., Linet M., McBride M., Michaelis J., Tynes T. & Verkasalo P.K. 2000: A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. Br J Cancer 83 (5): 692–698

Baliatsas C., Van Kamp I., Bolte J., Schipper M., Yzermans J. & Lebret E. 2012b: Non-specific physical symptoms and electromagnetic field exposure in the general population: can we get more specific? A systematic review. Environ. Int. 41: 15-28

Baliatsas C., Van Kamp I., Lebret E. & Rubin J.G. 2012a: Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF): A systematic review of identifying criteria. BMC Publ. Health 12 (1): 643-666

Barth A., Ponocny I., Ponocny-Seliger E., Vana N. & Winker R. 2010: Effects of extremely low-frequency magnetic field exposure on cognitive functions: Results of a meta-analysis. Bioelectromagnetics 31 (3): 173-179

Berg-Beckhoff G., Heyer K., Kowall B., Breckenkamp J. & Razum O. 2010: The views of primary care physicians on health risks from electromagnetic fields. Dtsch. Ärztebl. Int. 107 (46): 817-823

BI Quickborn (Initiative Quickborn unter Höchstspannung) 2012: Stellungnahme (Aspekt Höchstspannungsleitungen) zur Verordnung zur Änderung der Vorschriften über elektromagnetische Felder und das telekommunikationsrechtliche Nachweisverfahren (Entwurf, Stand 24.10.12). http://380kvquickborn.de.tl/Grenzwerte_-Ae-nderung-Stellungnahme-zum-Entwurf-.htm [17.09.2013]

BioInitiative Working Group 2012: BioInitiative Report: A rationale for biologically-based public exposure standards for electromagnetic radiation. www.bioinitiative.org [09.04.2013]

BMU (Bundesministerium für Umwelt. Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2013: Verordnung zur Änderung der Vorschriften über elektromagnetische Felder und das telekommunikationsrechtliche Nachweisverfahren.

Brain J.D., Kavet R., McCormic D.L. Poole C., Silverman L.B., Smith T.J., Valberg P.A., Van Etten R.A. & Weaver J.C. 2003: Childhood leukemia: electric and magnetic fields as possible risk factors. Environ. Health Persp. 111 (7): 962-970

Buchner K. 2012: Bemerkungen zum Informationsblatt BOS Digitalfunk in Bayern – Informationen zur Einführung des Bayerischen Staatsministeriums des Innern Projektgruppe DigiNet zum Behördenfunk TETRA (5. Auflage). [http://www.schweinfurt.bund-naturschutz.de/fileadmin/kreisgruppen/ chweinfurt/Mobilfunk/Tetra_Buchner_2.pdf; 26.09.2013]

BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland) 2012: Schutz vor niederfrequenten magnetischen Wechselfeldern bei Hochspannungs-Freileitungen und Erdkabeln. BUNDhintergrund

BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland) 2013: Stellungnahme des BUND zur Verordnung zur Änderung der Vorschriften über elektromagnetische Felder und das telekommunikationsrechtliche Nachweisverfahren. http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/technischer_umweltschutz/121120_bund_technischer_umweltschutz_telekommunikationsrechtliche_nachweisverfahren_hintergrund.pdf [09.04.2013]

BUND Sachsen 2008: Was man über Elektrosmog wissen sollte. Rundbrief BUNDmagazin 2-08: 10

BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schweiz) 2003: Hochfrequente Strahlung und Gesundheit. Bewertung von wissenschaftlichen Studien an Menschen im Niedrigdosisbereich. Umwelt-Materialien Nr. 162 Nichtionisierende Strahlung

Carrubba S. & Marino A.A. 2008: The effects of low-frequency environmental-strength electromagnetic fields on brain electrical activity: A critical review of the literature. Electromagn. Biol. Med. 27 (2): 83-101

Chen C., Ma X., Zhong M. & Yu Z. 2010: Extremely low-frequency electromagnetic fields exposure and female breast cancer risk: a meta-analysis based on 24,338 cases and 60,628 controls. Breast Cancer Res. Treat. 123 (2): 569-576

Chen X.-L., Benkler S., Chavannes N., De Santis V. Bakker J., van Rhoon G., Mosig J. & Kuster N. 2013: Analysis of human brain exposure to low-frequency magnetic fields: A numerical assessment of spatially averaged electric fields and exposure limits. Bioelectromagnetics 34: 375-384

Cherry N. 1999: Criticism of the proposal to adopt the ICNIRP guidelines for cellsites in New Zealand. ICNIRP guideline critique. Stellungnahme im Auftrag der Regierung Neuselands [http://www.salzburg.gv.at/ICNIRP-Kritik1.pdf; 26.09.2013

Coble J.B., Dosemeci M., Stewart P.A., Blair A., Bowman J., Fine H.A., Shapiro W.R., Selker R.G., Loeffler J.S., Black P.M., Linet M.S. & Inskip P. 2008: Occupational exposure to magnetic fields and the risk of brain tumours. Neuro-Oncol. June 2009: 242-249

Cohen B.S., Xiong J.Q., Fang C.P. & Li W. 1998: Deposition of charged particles on lung airways. Health Phys. 74 (5): 554-560

Crasson M. 2003: 50-60 Hz electric and magnetic field effects on cognitive function in humans: a review. Radiat. Prot. Dosimetry 106 (4): 333-340

Crumpton M.J. & Collins A.R. 2004: Are environmental electromagnetic fields genotoxic?. DNA Repair 3 (10): 1385-1387

Dehos A., Grosche B., Pophof B. & Jung T. 2013: Gesundheitliche Risiken durch die niederfrequenten Felder der Stromversorgung – Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse und offene Fragen. UMID 2013 (1): 47-57

Depner K., Hennies K., Neitzke H.-P. & Voigt H. 2001a: Bewertung der Risiken elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit I. EMF-Monitor 7 (2): 7-11

Depner K., Hennies K., Neitzke H.-P. & Voigt H. 2001b: Bewertung der Risiken elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit II. EMF-Monitor 7 (3): 10-13

Dobson J.P., Fuller M., Moser S., Wieser H.G., Dunn J.R. & Zoeger J. 1995: Evocation of epileptiform activity by weak D.C. magnetic fields and iron biomineralization in the human brain. In: Baumgartner C., Deecke L., Stroink G., Williamson S.J.: Biomagnetism: Fundamental Research and Applications. Elsevier, Amsterdam: 16-19

EEA (European Environment Agency) 2001: Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896–2000. Environmental issue report No. 22. EEA, Kopenhagen

EEA (European Environment Agency) 2013b: Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation. EEA Report Nr. 1/2013. EEA, Kopenhagen

EEA (European Environmental Agency)2013a: Environment and human health. EEA Report No 5/2013

Erren T.C. 2001: A meta-analysis of epidemiological studies of electric and magnetic fields and breast cancer in women and men. Bioelectromagnetics Suppl. 5: S105-S119

EU-Kommission (Kommission der Europäischen Gemeinschaften) 2000: Die Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips. Mitteilung der Kommission, KOM (2000) 1, Brüssel

EU-Kommission (Kommission der Europäischen Gemeinschaften) 2008: Report from the Commission on the application of the Council Recommendation of 12 July 1999 (1999/519/EC) on the limitation of the exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). Second implementation report 2002-2007. COM(2008) 532 final. Brussels, 1.9.2008

Feychting M. & Forssén U. 2006: Electromagnetic fields and female breast cancer. Cancer Causes Control 17 (4): 553-558

Feychting M. 2005a: Health effects of static magnetic fields – a review of the epidemiological evidence. Prog. Biophys. Molec. Biol. 87 (2-3): 241-246

Feychting M. 2005b: Non-cancer EMF effects related to children. Bioelectromagnetics 26, Suppl. 7: S69-S74

Fischhoff B., Slovic P., Lichtenstein S., Read S. & Combs B. 1978: How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits. Policy Sci. 9: 127-152

Garcia A.M., Sisternas A. & Hoyos S.P. 2008: Occupational exposure to extremely low frequency electric and magnetic fields and Alzheimer disease: a metaanalysis. Int. J. Epidemiol. 37 (2): 329–340

Greenland S. & Kheifets L. 2009: Designs and analyses for exploring the relationship og magnetic fields to childhood leukemia: A pilot project for the Danish National Birth Cohort. Scan. J. Publ. Health 37 (1): 83-92

Habash R.W., Brodsky L.M., Leiss W., Krewski D. & Repacholi M. 2003: Health risks of electromagnetic fields. Part I: Evaluation and assessment of electric and magnetic fields. Crit. Rev. Biomed. Engin. 31 (3): 141-195

Habash R.W.Y. 2003: Foreseeable health risk of electric and magnetic field residential exposures. Energ. Environ. 14 (4): 473-488

Hanf V. 2002: Electromagnetic fields and breast cancer - A review. Geburtsh. Frauenheilk. 62 (1): 22-29

Henshaw D.L. & Reiter R.J. 2005: Do magnetic fields cause increased risk of childhood leukemia via melatonin disruption? Bioelectromagnetics 26 (Suppl. 7): S86-S97

Henshaw D.L. 1997: Electromagnetic fields and lung cancer. Am. J. Epidemiol. 146: 366

Henshaw D.L. 2002: Does our electricity distribution system pose a serious risk to public health? Med. Hypotheses 59: 39-51

Henshaw D.L., Ross A.N., Fews A.P. & Preece A.W. 1996: Enhanced deposition of radon daughter nuclei in the vicinity of poewer frequency electromagnetic fields. Int. J. Radiat. Biol. 69 (1): 25-31

Hinman M.R. 2002: Comparative effect of positive and negative static magnetic fields on heart rate and blood pressure in healthy adults. Clin. Rehabil. 16 (6): 669-674

Hore P.J. 2012: Are biochemical reactions affected by weak magnetic fields? PNAS 109 (5): 1357-1358

Hug K., Röösli M. & Rapp R. 2006: Magnetic field exposure and neurodegenerative diseases - recent epidemiologic studies. Soz. Präventivmed. 51 (4): 210-220

Huss A., Spoerri A., Egger M. & Röösli M. 2009: Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: Longitudinal study of the Swiss population. Am. J. Epidemiol. 169 (2): 167-175

Huss J. (Berichterstatter) 2011: The potential dangers of electromagnetic fields and their effect on the environment. Council of Europe, Parliamentary Assembly, Committee on the Environment, Agriculture and Local and Regional Affairs. Doc. 12608 Report [http://assembly.coe.int/ASP/Doc/XrefViewPDF.asp?FileID=13137&Language=EN; 26.09.2013]

Hutter H.-P. & Kundi M. 2013: Grenzwerte aus Sicht der öffentlichen Gesundheit. Stellungnahme zur Verordnung zur Änderung der Vorschriften über elektromagnetische Felder und das telekommunikationsrechtliche Nachweisverfahren. Deutscher Bundestag

IARC (International Agency for Research on Cancer) 2002: Non-ionizing radiation. Part I: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans 80: 1-395

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) 1998: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 74 (4): 494-522

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) 2009: Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Phys. 96 (4): 504-514

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) 2010: ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz). Health Phys. 99 (6): 818□836

IRGC (International Risk Governance Council) 2005: Risk governance – towards an integrative approach. IRGC white paper no. 1. IRGC, Geneva

IRGC (International Risk Governance Council) 2008: An introduction to the IRGC risk governance framework. IRGC, Geneva

Irigaray P., Newby J.A., Clapp R., Hardell L., Howard L., Howard V., Montagnier L., Epstein S. & Belpomme D. 2007: Lifestyle-related factors and environmental agents causing cancer: an overview. Biomed. Pharmacother. 61 (10): 640-658

Johansen C. 2004: Electromagnetic fields and health effects – Epidemiological studies of cancer, diseases of the central nervous system and arrhythmia-related heart disease. Scand. J. Work Environ. Health 1: 1-30

Jungermann H. & Slovic P. 1993: Charakteristika individueller Risikowahrnehmung. In: Bayerische Rückversicherung (Hrsg.): Risiko ist ein Konstrukt. Knesebeck, München: 89-107

Jungermann H. 1990: Risikoeinschätzung. In: Kruse, Graumann & Lantermann (Ed.): Ökologische Psychologie: Ein Handbuch für Schlüsselbegriffe. Psychologische Verlags Union, München: 293-300

Juutilainen J. 2003: Developmental effects of extremely low frequency electric and magnetic fields. Radiat. Protect. Dosimetry 106 (4): 385-390

Juutilainen J. 2008: Do electromagnetic fields enhance the effects of environmental carcinogens? Radiat. Protect. Dosimetry 132 (2): 228-231

Juutilainen J., Kumlin T. & Naarala J. 2006: Do extremely low frequency magnetic fields enhance the effects of environmental carcinogens? A meta-analysis of experimental studies. Int. J. Radiat. Boil. 82 (1): 1-12

Kaatsch P., Spix C. & Michaelis J. 2000: Jahresbericht 1999 des Deutschen Kinderkrebsregisters, Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation, Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Karasek M. & Lerchl A. 2002: Melatonin and magnetic fields. Neuroendocrinol. Lett. 23, Suppl. 1: 84-87

Karasek M. & Woldanka-Okonska M. 2004: Electromagnetic fields and human endocrine system. Sci. World J. 4 (Suppl. 2): 23-28

Kheifets L. & Oksuzyan S. 2008: Exposure assessment and other challenges in non-ionizing radiation studies of childhood leukemia. Tad. Prot. Dos. 132 (2): 139-147

Kheifets L., Afifi A., Monroe J. & Swanson J. 2011: Exploring exposure-response for magnetic fields and childhood leukemia. J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. 21: 625-633

Kheifets L., Ahlbom A., Crespi C.M., Draper G., Hagihara J., Lowenthal R.M., Mezei G., Oksuzyan S., Schüz J., Swanson J., Tittarelli A., Vinceti M., Wunsch Filho V. 2010b: Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. Br. J. Cancer 103 (7): 1128-1135

Kheifets L., Ahlbom A., Crespi C.M., Draper G., Hagihara J., Lowenthal R.M., Mezei G., Oksuzyan S., Schüz J., Swanson J., Tittarelli A., Vinceti M., Wunsch Filho V. 2011: Erratum 'Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia'. Br. J. Cancer 104 (1): 228

Kheifets L., Ahlbom A., Crespi C.M., Feychting M., Johansen C., Monroe J., Murphy M.F., Oksuzyan S., Preston-Martin S., Roman E., Saito T., Savitz D., Schüz J., Simpson J., Swanson J., Tynes T., Verkasalo P. & Mezei G. 2010c: A pooled analysis of extremely low-frequency magnetic fields and childhood brain tumors. Am J Epidemiol. 172 (7):752-761

Kheifets L., Ahlbom A., Johansen C., Feychting M., Sahl J. & Savitz D. 2007: Extremely low-frequency magnetic fields and heart disease. Scand. J. Work Environ. Health 33 (1): 5-12

Kheifets L., Bowman J.D., Checkoway H., Feychting M., Harrington J.M., Kavet R., Marsh G., Mezei G., Renew D.C. & van Wijngaarden E. 2009: Future needs of occupational epidemiology of extremely low frequency electric and magnetic fields: review and recommendations. Occup. Environ. Med. 66 (2): 72-80

Kheifets L., Monroe J., Vergara X., Mezei G. & Afifi A.A. 2008: Occupational electromagnetic fields and leukemia and brain cancer: An update to two meta-analyses. J. Occup. Environ. Med. 50: 677-688

Kheifets L., Renew D, Sias G. & Swanson J. 2010a: Extremely low frequency electric fields and cancer: assessing the evidence. Bioelectromagnetics 31 (2): 89-101

Kheifets L.I. 2001: Electric and magnetic field exposure and brain cancer: A review. Bioelectromagnetics Suppl. 5: S120-S131

Kirschvink J.L., Kobayashi-Kirschivink A. & Woodford B.J. 1992: Magnetite biomineralization in the human brain. Proc. Natl. Acad. Sci., USA, 89 (16): 7683-7687

Kleinhückelkotten S. & Neitzke H.-P. 2012: Naturbewusstseinsstudie 2011. Abschlussbericht. ECOLOG-Institut, Hannover

Kleinhückelkotten S., Messelken H. & Neitzke H.-P. 2013: Ausbau der Hochspannungsnetze: Akzeptanz und Konflikte. EMF-Monitor 19 (1): 1-4

Kowall B., Breckenkamp J., Heyer K. & Berg-Beckhoff G. 2009: German wide cross sectiobnal survey on health impacts of electromagnetic fields in the view of general practitioners. Int. J. Publ. Health 55 (5): 507-512

Kühling W. 2013: Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung zur Verordnung der Bundesregierung „Verordnung zur Änderung der Vorschriften über elektromagnetische Felder und das telekommunikationsrechtliche Nachweisverfahren“ (Bundestagsdrucksache 17/12372). Deutscher Bundestag

Leszczynski D. 2010: Nothing new under the sky" – the new WHO research agenda. [http://betweenrockandhardplace.wordpress.com/2010/08/19/%E2%80%A2nothing-new-under-the-sky-the-new-who-research-agenda/; 26.09.2013]

Levallois P. 2002: Hypersensitivity of human subjects to environmental electric and magnetic field exposure: a review of the literature. Environ. Health Persp. 110 (Suppl. 4): 613-618

Maslanyj M., Lightfoot T., Schüz J., Sienkiewicz Z. & McKinlay A. 2010: A precautionary public health protection strategy for the possible risk of childhood leukaemia from exposure to power frequency magnetic fields. BMC Public Health 10: 673-683

McKinney P.A. 2005: Central nervous system tumours in chidren: Epidemiology and risk factors. Bioelectromagnetics 26, Suppl. 7: S60-S68

McMahan S., Lutz R. & Meyer J. 2002: Attitudes about electric and magnetic fields: Do scientists and other risk experts perceive risk similarly? J. Environ. Health 65 (5): 9-12

McNally R.J. & Parker L. 2006: Environmental factors and childhood leukemias and lymphomas. Leukemia Lymphoma 47 (4): 583-598

McNamee D.A., Legros A.G., Krewski D.R., Wisenberg G., Prato F.s. & Thomas A.W. 2009: A literature review: the cardiovascular effects of exposure to extremely low frequency electromagnetic fields. Int. Arch. Occup. Environ. Health 82 (8): 919-933

Mezei G., Gadallah M. & Kheifets L. 2008: Residential magnetic fields and childhood brain cancer: A meta-analysis. Epidemiol. 19: 424-430

Moser S. & Neitzke H.-P. 2007: Qualitative Muster der Risikowahrnehmung. AACCrisk Arbeitsbericht. ECOLOG-Institut, Hannover, und Interfakultäre Koordinationsstelle für Allgemeine Ökologie, Universität Bern

Moulder J.E. & Foster K.R. 1999: Is there a link between exposure to power-frequency electric fields and cancer? IEEE Eng. Med. Biol. Mag. 18 (2): 109–116

Neitzke H.-P. 2012: Einfluss schwacher Magnetfelder auf biologische Systeme: Biophysikalische und biochemische Wirkungsmechanismen. EMF-Monitor 18 (4): 1-5

Neitzke H.-P. 2013: Stellungnahme im Rahmen der Anhörung des Bundestags-Ausschusses für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Verordnung der Bundesregierung Verordnung zur Änderung der Vorschriften über elektromagnetische Felder und das telekommunikationsrechtliche Nachweisverfahren. Deutscher Bundestag

Neitzke H.-P. & Voigt H. 2012: 'Übertragung elektrischer Energie: Technische Möglichkeiten und Risiken für Mensch und Umwelt. EMF-Monitor 18 (1+2): 1-16

Neitzke H.-P., Hennies K. & Voigt H. 2001a: Gesundheitliche Auswirkungen und biologische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder. Ausarbeitung für ein Fachgespräch der Strahlenschutzkommission

Neitzke H.-P., Hennies K. & Voigt H. 2001b: Gesundheitliche Auswirkungen und biologische Effekte niederfrequenter Magnetfelder. Ausarbeitung für ein Fachgespräch der Strahlenschutzkommission

Neitzke H.-P., Osterhoff J. & Voigt H. 2009: Bestimmung und Vergleich der von Erdkabeln und Hochspannungsfreileitungen verursachten Expositionen gegenüber niederfrequenten

elektrischen und magnetischen Feldern. Abschlussbericht zum Vorhaben 3608S03011, im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz

NRPB (National Radiation Protection Board) 2004: Particle deposition in the vicinity of power lines and possible effects on health: Report of an independent advisory group on non-ionising radiation and its ad hoc group on corona ions. Documents of the NRPB 15 (1)

Öberg T. & Peltola P. 2009: Increased deposition of polychlorinated biphenyls (PCBs) under an AC high-voltage power line. Atmos. Environ. 43 (39) 6168-6174

Pelissari D.M., Barbieri F.E., Wünsch V. & Filho V. 2009: Magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children: a systematic review of case-control-studies. Cad. Saude Publica 25 (3): S441-S452

Reuss S., Semm P. & Vollrath L. 1983: Different types of magnetically sensitive cells in the rat pineal gland. Neurosci. Lett. 40 (1): 23-26

RHT (Rådet for Helbredssikker Telekommunikation) 2013: ICNIRPs interessekonflikter [http://www.helbredssikker-telekommunikation.dk/icnirps-interessekonflikter; 26.09.2013]

Ritz T., Adem S. & Schulten K. 2000: A model for photoreceptor-based magnetoreception in birds. Biophys. J. 78:707-718

Röösli M., Rapp R., Braun-Fahrländer C. 2003: Hochfrequente Strahlung und Gesundheit – eine Literaturanalyse. Gesundheitswesen 65 (6): 378-392

SAGE (Stakeholder Advisory Group on ELF EMFs) 2007: Stakeholder Advisory Group on ELF EMFs (SAGE). Precautionary approaches to ELF EMFs. First Interim Assessment: Power Lines and Property, Wiring in Homes, and Electrical Equipment in Homes.

SAGE (Stakeholder Advisory Group on ELF EMFs) 2010: Stakeholder Advisory Group on ELF EMFs. Second Interim Assessment 2009 – 2010: Electricity Distribution (including low-voltage and intermediate-voltage circuits and substations) and Report on Discussions on Science

Santini M.T., Ferrante A., Rainaldi G., Indovina P. & Indovina P.L. 2005: Extremely low frequency (ELF) magnetic fields and apoptosis: a review. Int. J. Radiat. Biol. 81 (1): 1-11

Santini M.T., Rainaldi G. & Indovina P.L. 2009: Cellular effects of extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields. Int. J. Radiat. Biol. 85 (4): 294-313

Savitz D.A. & Poole C. 2001: Do studies of wire code and childhood leukemia point towards or away from magnetic fields as a causal agent? Bioelectromagnetics Suppl. 5: S69-S85

SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks) 2007: Possible effects of electromagnetic fields (EMF) on human health. Opinion adopted at the 16th plenary of 21 March 2007

Schüz J. 2003: Leukämien im Kindesalter und die Rolle von Umwelteinflüssen bei deren Entstehung. EMF-Monitor 9 (3): 1-4

Schüz J., Lagorio S. & Bersani F. 2009: Electromagnetic fields and epidemiology: An overview inspired by the fourth course at the International Scholl of Bioelectromagnetics. Bioelectromagnetics 30 (7): 511-524

Schulten K., Staerk H., Weller A., Werner H.-J. & Nickel B. 1976: Magnetic field dependence of the geminate recombination of radical ion pairs in polar solvents. Z. Phys. Chem. NF 101 (1-6):371-390

Schulten K., Swenberg C.E. & Weller A. 1978: A biomagnetic sensory mechanism based on magnetic field modulated coherent electron spin motion. Z. Phys. Chem. NF 111 (1):1-5

Schweizerischer Bundesrat 1999: Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung. Bern

Semm P., Schneider T. & Vollrath L. 1980: Effects of an earth-strength magnetic field on electrical activity of pineal cells. Nature 288 (5791): 607-608

Siegrist M. 1999: A causal model explaning the perception and acceptance of gene technology. J. Appl. Soc. Psychol. 29 (10): 2093-2106

Siegrist M., Earle T.C. & Gutscher H. 2003: Test of a trust and confidence model in the applied context of electromagnetic field (EMF) risks. Risk Analysis 23 (4): 705-716

Simko M. & Mattsson M.O. 2004: Extremely low frequency electromagnetic fields as effectors of cellular responses in vitro: possible immune cell activation.. J. Cell. Biochem. 93 (1): 83-92

Sjöberg L. 2001: Limits of knowledge and the limited importance of trust. Risk Analysis 21 (1): 189-198

Sjöberg L. 2002: Attitudes towards technology and risk: Going beyond what is immediately given. Policy Sci. 35: 379-400

Slovic P. 1987: Perception of risk. Science 236: 280-285

Slovic P., Finucane M., Peters E. & MacGregor D.G. 2004: Risk as analysis and risk as feelings: Some thoughts about affect, reason, risk, and rationality. Risk Analysis 24(2): 1-13

SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) 2011: Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung. Sondergutachten. Januar 2011

SSK (Strahlenschutzkommission) 2001: Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, 04.07.2001

SSK (Strahlenschutzkommission) 2008: Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und -anwendung. Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 221. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 21./22.02.2008

SSK (Strahlenschutzkommission) 2011: Vergleichende Bewertung der Evidenz von Krebsrisiken durch elektromagnetische Felder und Strahlungen. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, 15.04.2011

Sun J.W., Li X.R., Gao H.Y., Yin J.Y., Qin Q., Nie S.F. & Wei S. 2013: Electromagnetic field exposure and male breast cancer risk: A meta-analysis of 18 studies. Asian Pac. J. Cancer Prev. 14 (1): 523-528

Tammet H. & Kimmel V. 1998: Electrostatic deposition of radon daughter clusters on trees. J. Aerosol Sci. 29: S473-S474

Thalmann A. 2005: Risiko "Elektrosmog": Wie ist Wissen in der Grauzone zu kommunizieren? Beltz- Verlag, Weinheim

Toburen L.H. 1996: Electromagnetic fields, radon and cancer. Lancet 347: 1060-1061

Vergara X., Kheifets L., Greenland S., Oksuzyan S., Cho Y.S. & Mezei G. 2013: Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and neurodegenerative disease: a meta-analysis. J. Occup. Environ. Med. 55 (2): 135-146

Vijayalaxmi & Obe G. 2005: Controversial cytogenetic observationd in mammalian somatic cells exposed to extremely low frequency electromagnetic radiation: a review and future research recommendations. Bioelectromagnetics 26 (5): 412-430

Vijayalaxmi & Prihoda T.J. 2009: Genetic damage in mammalian somatic cells exposed to extremely low frequency electro-magnetic fields: A meta-analysis of data from 87 publications. Int. J. Radiat. Biol. 85 (3): 196-213

Wertheimer N. & Leeper E. 1979: Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am. J. Epidemiol. 109 (3): 273-284

WHO ((World Health Organization) 2007: Extremely low frequency fields. Environmental Health Criteria 238. WHO, Genf

WHO (World Health Organization) 2006a: Framework for developing health-based EMF standards. WHO, Genf

WHO (World Health Organization) 2006b: Static fields. Environmental Health Criteria 232. WHO, Genf

Wiltschko R. & Wiltschko W. 2012: Magnetoreception. Adv. Exp. Med. Biol. 739: 126-141

Ziegelberger G., Baum C., Borkhardt A., Cobaleda C., Dasenbrock C., Dehos A., Grosche B., Hauer J., Hornhardt S., Jung T., Kammertöns T., Lagroye I., Lehrach H., Lightfoot T., Little M.P., Rossig C., Sanchez-Garcia I., Schrappe M., Schüz J., Shalapour S., Slany R., Stanulla M. & Weiss W. 2011: Research recommendations toward a better understanding of the causes of childhood leukemia. Blood Cancer J. 1, e1. doi:10.1038/bcj.2010.1

Links

www/BioInit: www.bioinitiative.org [30.09.2013]
www/BI:
http://380kvquickborn.de.tl/Unsere-Argumente-.htm [30.09.2013]
http://pro-erdkabel-nrw.npage.de/krankheiten.html [30.09.2013]
http://www.gegen-die-trasse.de/ [30.09.2013]
http://unter-hochspannung.de/380kv-infos/gesundheitsrisiken/ [30.09.2013]
http://www.gegen380kv.bockstadt.com/ [30.09.2013]
www/BfS: http://www.bfs.de/de/elektro/nff/wirkungen/wirkungen.html [09.10.2013]

www/BMU:
http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft_Laerm_Verkehr/Hintergrundpapier_Grenzwerte_Niederfrequenz_Februar_2013_bf.pdf [01.10.2013]
www/Einwendungen:
http://www.uckermark-ig.de/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=54 [30.09.2013]
http://achtung-hochspannung.de/cms/upload/Downloads/Leitfaden-Einwand-Planfeststellungsverfahren.pdf [30.09.2013]
www/IARC: http://monographs.iarc.fr/ENG/Preamble/currentb6evalrationale0706.php [30.09.2013]
www/SCENIHR:
http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/members_committee/index_en.htm [01.10.2013]
www/WHO: http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/Worldmap5.htm)