UNIKLINIK RWTH AACHEN
Institut für
Arbeits- und Sozialmedizin

Anlage 8.2.1
Fachstellungnahme

Gesundheitliche Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder von Stromleitungen

im Auftrag der

Bundesnetzagentur

Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (*femu*)
Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin
Universitätsklinikum Aachen

März 2013

Inhaltsverzeichnis

Gesundheitliche Wirkungen 1
Hintergrundinformationen zum Bewertungsprozess gesundheitlicher Wirkungen 1
Empfindlichkeit unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen 2
Krebs und Kinderleukämie 3
Genotoxizität 4
Neurodegenerative Erkrankungen (Parkinson, Alzheimer, ALS) 4
Elektrosensibilität 5
Veränderung von Hirnströmen 6
Herz- und Kreislaufsystem 6
Immunsystem 7
Blut-Hirn-Schranke 7
Melatonin-Sekretion 8
Implantate 8
Grenzwerte 9
HGÜ 11
HGÜ (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung) 11
Magnetische Felder - Wirkungen auf den Menschen 11
Elektrische Felder - Wirkungen auf den Menschen 11
Gesundheitliche Wirkungen 12
Ionisation von Luftmolekülen („Koronaentladung“, „Korona-Effekt“) 12
Konverterstationen 14

Gesundheitliche Wirkungen

Hintergrundinformationen zum Bewertungsprozess gesundheitlicher Wirkungen

Zur Abschätzung und für den Nachweis von Wirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus bzw. die Gesundheit müssen sowohl sogenannte epidemiologische Studien als auch experimentelle medizinisch/biologische Studien herangezogen werden, wobei jeder Studientyp bestimmte Vor- und Nachteile bietet, die bei einer abschließenden Bewertung berücksichtigt werden müssen. Der Vorteil epidemiologischer Studien und experimenteller Untersuchungen direkt am Menschen beispielsweise liegt in ihrem direkten Bezug zum Menschen, wohingegen kleine Stichproben, eine oft unzureichende retrospektive Datensammlung und eine oftmals mangelnde statistische Aussagekraft die Nachteile solcher Studien sind. Dies erschwert den tatsächlichen Nachweis für einen Zusammenhang zwischen einer möglichen Ursache (z.B. einem Magnetfeld) und einer beobachteten Wirkung (z.B. einer Erkrankung). Darüber hinaus kann die Ursächlichkeit einer Erkrankung durch einen Umweltfaktor, zum Beispiel elektromagnetische Felder, mittels epidemiologischer Studien nur schwer belegt werden. Deswegen müssen zusätzlich *in vitro*-Studien und tierexperimentelle Studien durchgeführt werden, um beobachtete mögliche Wirkungen zu bestätigen, Wirkungsmechanismen aufzudecken und Hypothesen zu überprüfen. Tier- und *in vitro*-Studien liefern aufgrund der Möglichkeit einer standardisierten Durchführung im Labor mit großen Stichproben oft verlässlichere Ergebnisse, insbesondere bezüglich schwacher und somit schwieriger nachweisbarer Wirkungen, als epidemiologische Untersuchungen. Ihr Nachteil besteht aber wiederum in der Schwierigkeit der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Menschen. Zum Nachweis eines konsistenten Effekts müssen deswegen immer die Ergebnisse aller Studientypen herangezogen und verglichen werden. Nur wenn die Ergebnisse einzelner Studientypen (d.h. epidemiologischer, tierexperimenteller und *in vitro*) überwiegend konsistente Hinweise auf dieselben Wirkungen liefern, kann von einem wissenschaftlich belegten Zusammenhang gesprochen werden. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass eine Wirkung nicht zwangsläufig auch eine gesundheitliche Beeinträchtigung bedeutet.

Mit dem wissenschaftlich nicht klar definierten Begriff „Langzeitstudie“ wird häufig eine lange Studiendauer gefordert, die jedoch von der Lebensdauer der untersuchten Art (z.B. Maus oder Mensch) abhängig ist. Anstatt von Langzeitstudien zu sprechen, bietet es sich besser an, Wirkungen nach akuter und chronischer Exposition zu unterscheiden. Auch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) und „International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection“ (ICNIRP) unterscheiden in ihren Bewertungen der Wirkungen elektromagnetischer Felder grundsätzlich akute und chronische Wirkungen. Akute Wirkungen treten unmittelbar nach einer kurzzeitigen Exposition auf, chronische Wirkungen erst nach einer längeren Zeit bei anhaltender Exposition über mehrere Tage, Wochen oder Jahre. Zur Untersuchung von chronischen Wirkungen beim Menschen wird z.B. in einer prospektiven epidemiologischen Studie (so genannte Kohortenstudie) eine Gruppe von Personen über einen längeren Zeitraum beobachtet, um festzustellen, ob ein erhöhtes Gesundheitsrisiko von einer bestimmten Exposition ausgeht. Häufig vorkommende Erkrankungen können mit Hilfe dieses Studientyps gut untersucht werden, während bei seltenen Erkrankungen (z.B. Kinderleukämie mit etwa 5 Fällen pro 100.000 Kinder) aufgrund der notwendigen hohen Anzahl der Studienteilnehmer dieser Studientyp kaum durchführbar ist.

Eine abschließende Bewertung einer eventuellen gesundheitlichen Wirkung elektrischer, magnetischer oder elektromagnetischer Felder ist ein zeitaufwendiger und schwieriger Prozess, der nur von entsprechenden Expertengremien durchgeführt werden kann. Im Laufe eines solchen Prozesses müs-

sen alle Publikationen aller Studientypen (*in vitro*, tierexperimentelle, epidemiologische etc.) eines bestimmten Frequenzbereiches und mit bestimmten Endpunkten gesammelt und in Hinblick auf ihre individuelle Qualität (z.B. Dosimetrie, Studiendesign, Probengröße, Statistik), Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und Vergleichbarkeit mit anderen Studien bewertet werden. Behörden und Institutionen, die solche Bewertungsprozesse durchführen, sind zum Beispiel die Strahlenschutzkommission (SSK) beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), das Bundesamt für Strahlenschutz oder auf internationaler Ebene die Weltgesundheitsorganisation (WHO), die "International Agency for Research on Cancer" (IARC) oder die „International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection“ (ICNIRP). Hier liegen unterschiedliche umfangreiche Stellungnahmen zu den Wirkungen elektromagnetischer Felder vor.

Bei der von einem Teilnehmer der Konsultation zitierten Quelle „Stress durch Strom und Strahlung. Baubiologie: Unser Patient ist das Haus Bd.1. Elektrosmog, Mobilfunk, Radioaktivität, Erdstrahlung, Schall“ von Wolfgang Maes handelt es sich nicht um eine wissenschaftliche Bewertung von Forschungsergebnissen im oben angeführten Sinne durch ein entsprechend qualifiziertes Expertengremium, sondern um die Abhandlung eines Baubiologen. Herausgeber ist das Institut für Baubiologie und Ökologie, welches über Fernlehrgänge Baubiologen ausbildet. Hinweise aus einzelnen Studien können nicht als erwiesene Wirkung angesehen werden. Dies fordert auch die WHO in ihrem Handbuch „Herstellen eines Dialogs zu den Risiken elektromagnetischer Felder“: „Der Wissenschaftler muss darauf achten, dass er bei der Weitergabe wissenschaftlicher Informationen alle verfügbaren Befunde vorlegt, selbst wenn manche Untersuchungen zu entgegengesetzten Resultaten gelangen. Nur dann können Wissenschaftlicher als wirklich unabhängig betrachtet werden[1]“. Herr Maes untermauert seine Aussagen nicht mit entsprechenden wissenschaftlichen Studien und gibt keine Literaturquellen an. Er setzt sich auch nicht auf die oben angeführte Weise mit der Thematik auseinander. Ein solches Vorgehen ist unwissenschaftlich und führt zwangsläufig zu Irreführungen und Verunsicherungen.

Empfindlichkeit unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen

Zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern werden Grenzwerte festgelegt. Dabei gelten für beruflich exponierte Personen andere Grenzwerte als für die allgemeine Bevölkerung. Die Grenzwerte für die allgemeine Bevölkerung sind deutlich niedriger. Es wurde im Vergleich zu beruflich exponierten Personen ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor eingefügt, um alle Menschen unterschiedlichen Alters und mit unterschiedlichem Gesundheitsstatus auch bei einer dauerhaften 24-stündigen Exposition zu schützen. Ein sehr seltenes Auftreten von Leukämie im Kindesalter im Zusammenhang mit der Exposition bei Magnetfeldern unterhalb der Grenzwerte ist bis heute nicht ursächlich geklärt und bedarf weiterer Forschung. Die Frage, ob kleine Kinder und auch noch Jugendliche gegenüber elektromagnetischen Feldern besonders empfindlich sind, ist wissenschaftlich nicht geklärt.[2] Es liegen keine wissenschaftlichen Hinweise vor, dass ältere Menschen oder Menschen mit Behinderungen empfindlicher auf elektromagnetische Felder reagieren.
Laut WHO gibt es für Elektrosensibilität bisher keine eindeutigen Diagnose-Kriterien. Es ist weder ein medizinisches Krankheitsbild, noch steht fest, dass es sich um ein eigenständiges medizinisches Prob-

[1] WHO Handbuch „Herstellen eines Dialogs über die Risiken elektromagnetischer Felder, 2002, S. 37 f. (http://www.who.int/peh-emf/publications/German_risk_handbook.pdf)
[2] UBA (2004): Umweltbedingte Gesundheitsrisiken: Was ist bei Kindern anders als bei Erwachsenen? http://www.apug.de/archiv/pdf/Broschuere_Kinder_Suszept.pdf

lem handelt[3]. Weiterhin gibt es weder einen bekannten biologischen Marker noch einen diagnostischen Test für Elektrosensibilität.
Es gibt Menschen, bei denen allein die Nähe zu potentiellen Gefahrenquellen zu negativen gesundheitlichen Auswirkungen führt. Hierbei kann es sich um das Phänomen des Nocebo-Effekts handeln, bei dem unerwünschte Wirkungen durch eine negative Erwartungshaltung auftreten und der das Gegenteil des allgemein bekannten Placebo-Effekts ist. Der Nocebo-Effekt wurde im Zusammenhang mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern mehrfach festgestellt**.**

Krebs und Kinderleukämie

Seit rund 30 Jahren wird ein möglicher Zusammenhang zwischen extrem niederfrequenten Magnetfeldern und dem Auftreten von Krebs in zahlreichen epidemiologischen Studien untersucht. Bei Erwachsenen ergaben sich keine Hinweise, dass bei lang andauernder beruflicher oder häuslicher Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern ein erhöhtes Risiko existiert, an Krebs (z.B. Leukämie, Brustkrebs oder Hirntumor) zu erkranken[4]. Bei Kindern zeigten die Ergebnisse epidemiologischer Studien ein erhöhtes Risiko für Kinderleukämie bei magnetischen Flussdichten über 0,3-0,4 µT auf. Aufgrund dieser Studien stufte das internationale Krebsforschungszentrum (IARC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) niederfrequente Magnetfelder in die Klasse 2B „möglicherweise krebserregend“ ein (2002 und 2007). Allerdings ist die Aussagekraft von epidemiologischen Studien durch methodische Probleme, wie beispielsweise Selektionsbias (eine systematische Verzerrung durch ein unterschiedliches Teilnahmeverhalten von Fall- und Kontrollgruppe) eingeschränkt (vgl. auch Hintergrundinformationen zum Bewertungsprozess gesundheitlicher Wirkungen). Zudem wurde bisher kein zugrundeliegender Wirkungsmechanismus aufgedeckt, der die Entstehung von Leukämie bei schwachen Magnetfeldern erklären könnte. Die Ergebnisse der epidemiologischen Studien konnten durch tierexperimentelle Studien ebenfalls nicht bestätigt werden.[5]

Leukämie im Kindesalter ist eine vergleichsweise seltene Krankheit (weltweit etwa 49.000 neuerkrankte Fälle pro Jahr, in Deutschland ca. 600 Fälle pro Jahr) deren Ursachen weitgehend unklar sind. Eine häusliche Exposition bei magnetischen Flussdichten von mehr als 0,3 µT ist ebenfalls sehr selten (nur ca. 1-4 % der Kinder betroffen) und setzt sich zu einem Drittel aus Quellen außerhalb der Wohnungen (z.B. Hochspannungsfreileitungen) und zu zwei Dritteln aus häuslichen Quellen wie z.B. Haushaltsgeräten zusammen. Die WHO hat 2007 die Durchführung von neuen gepoolten Analysen unter Einbeziehung der neueren epidemiologischen Studien zu Kinderleukämie und Magnetfeldern, die Entwicklung von transgenen Tiermodellen zur Untersuchung der Kinderleukämie mit extrem niederfrequenten Magnetfeldern sowie die mögliche kokarzinogene Wirkung von Magnetfeldern mit hoher Priorität eingestuft.[6]

---

[3] WHO Factsheet 296 (2005): Electromagnetic fields and public health - Electromagnetic Hypersensitivity; http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs296/en/index.html
[4] Strahlenschutzkommission (2008): Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und –anwendung; http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2008/Felder_Energieversorgung.pdf?__blob=publicationFile
[5] WHO (2007). Electromagnetic fields and public health - Exposure to extremely low frequency fields. WHO Factsheet 322
[6] WHO (2007) WHO Research Agenda for Extremly Low Frequency Fields; http://www.who.int/peh-emf/research/elf_research_agenda_2007.pdf

Die Strahlenschutzkommission (SSK) kommt in ihrer Empfehlung von 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. Aus der Analyse der vorliegenden wissenschaftlichen Literatur ergeben sich auch keine ausreichenden Belege, um zusätzliche verringerte Vorsorgewerte zu empfehlen, von denen ein quantifizierbarer gesundheitlicher Nutzen zu erwarten wäre. Die Strahlenschutzkommission stellt jedoch ebenfalls einen Forschungsbedarf in experimentellen und dosimetrischen Bereichen fest[4].

Forschung findet z.B. im Rahmen des europäischen Gemeinschaftprojekt ARIMMORA (Advanced Research on Interaction Mechanisms of electroMagnetic exposures with Organisms for Risk Assessment) statt, das im 7. Forschungsrahmenprogramm von der Europäischen Kommission gefördert wird. Ziel des Projekts ist es, den möglichen Wirkungsmechanismus von niederfrequenten Magnetfeldern auf die Entstehung von Krebs, insbesondere von Kinderleukämie mit Hilfe von neuartigen experimentellen und computergestützten Methoden sowie weiterentwickelten zell- und tierexperimentellen Untersuchungen unter genau definierten Expositionsbedingungen zu untersuchen. An dem Projekt (Beginn: Oktober 2011) sind Forschergruppen aus Deutschland, der Schweiz, Frankreich, Italien, Spanien und Israel beteiligt.[7]

Genotoxizität

Aufgrund der Vielzahl der verwendeten Untersuchungsobjekte und –methoden ist eine Bewertung der Studien zur Induktion von DNA-Schäden durch niederfrequente Felder schwierig. In den meisten Studien wurden keine genotoxischen Wirkungen gefunden. Die Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) stellte 2010 in ihrer Bewertung der gesundheitlichen Wirkungen niederfrequenter Felder fest, dass die Studien zu den Wirkungen niederfrequenter Felder auf Zellen keine Induktion einer Genotoxizität unterhalb von 50 mT zeigen[8].

Neurodegenerative Erkrankungen (Parkinson, Alzheimer, ALS)

Seit rund 25 Jahren wird der mögliche Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition bei extrem niederfrequenten Magnetfeldern und dem Auftreten von neurodegenerativen Erkrankungen wie z.B. Alzheimer-Krankheit, Parkinson-Krankheit, amyotrophe Lateralsklerose (ALS) und multipler Sklerose mit Hilfe von epidemiologischen Studien untersucht. Es liegen insgesamt 26 Studien zur Erkrankungs- oder Sterblichkeitsrate aufgrund von neurodegenerativen Erkrankungen bei Arbeitern vor, die vorwiegend in Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen tätig waren. Mehrere Studien deuten darauf hin, dass die berufliche Exposition bei Netzfrequenz-Magnetfeldern mit einem erhöhten Risiko an Alzheimer-Krankheit und amyotropher Lateralsklerose zu erkranken, einhergeht. Es wurde kein Zusammenhang zwischen der beruflichen Exposition und Parkinson-Krankheit sowie multipler Sklerose festgestellt[8]. Zur häuslichen Exposition bei Magnetfeldern von Hochspannungsfreileitungen wurden bisher zwei Studien durchgeführt, in denen es einen Hinweis auf ein erhöhtes Risiko für Alzheimer-Krankheit gibt, jedoch keine Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für Parkinson-Krankheit, multipler Skle-

[7] http://arimmora-fp7.eu/index.php?page=the-consortium

[8] ICNIRP (2010): Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz)“, Health Physics 99 (6): 818-836

rose und amyotrophe Lateralsklerose. Das Bundesamt für Strahlenschutz fördert zur Zeit ein Forschungsvorhaben zu den Wirkungen niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Entstehung und den Verlauf von neurodegenerativen Erkrankungen im experimentellen Modell, um die Ergebnisse aus den epidemiologischen Studien zu überprüfen und einen eventuellen Wirkungsmechanismus aufzuklären.

Elektrosensibilität

Unter Elektrosensibilität versteht man die Entwicklung von gesundheitlichen Beschwerden durch die Einwirkung elektromagnetischer Felder. Generell sind die Symptome eher unspezifischer Natur, und es konnte bisher keine einheitliche Gruppe an Symptomen identifiziert werden. Bei manchen Betroffenen treten Symptome nur im Zusammenhang mit bestimmten Expositions-Quellen auf, wohingegen andere sensibel auf verschiedene Expositions-Quellen reagieren. Die Symptome Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Schwindel, Müdigkeit, Konzentrationsschwierigkeiten, Erschöpfung, Übelkeit oder Herzklopfen treten häufig bei verschiedenen Feldquellen (Mobiltelefone, Basisstationen, Hochspannungsleitungen, Radar, Haushaltsgeräte) auf. Gelegentlich werden auch Muskel-Schmerzen und Probleme im Hals-Nasen-Ohren-Bereich (z.B. Tinnitus, Hör-Probleme) genannt. Bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Kathodenstrahlröhren) und in der Nähe von Leuchtstoffröhren treten dagegen überwiegend Haut-Symptome (Rötungen, Prickeln, Brennen) und Augenreizungen (Brennen) auf. In vielen Fällen liegt die Stärke der Symptom-auslösenden elektromagnetischen Felder unterhalb der Werte, bei denen in wissenschaftlichen Studien physiologische Veränderungen beobachtet wurden. Laut WHO gibt es für Elektrosensibilität bisher keine eindeutigen Diagnose-Kriterien. Es ist weder ein medizinisches Krankheitsbild, noch steht fest, dass es sich um ein eigenständiges medizinisches Problem handelt[9] . Weiterhin gibt es keinen bekannten biologischen Marker noch einen diagnostischen Test für Elektrosensibilität.

Die Aussage von einem Teilnehmer der Konsultation „es könnten weiterhin Allergien, Schlaflosigkeit, Blutbildanomalien, vegetative Dystonie und Stresserscheinungen, Verhaltensstörungen und Reaktionszeitveränderung, Immunschwäche und Veränderungen der Pulsfrequenz ausgelöst werden“ scheinen aus der folgenden Quelle entnommen worden zu sein: „Stress durch Strom und Strahlung. Baubiologie: Unser Patient ist das Haus Bd.1. Elektrosmog, Mobilfunk, Radioaktivität, Erdstrahlung, Schall“ von Wolfgang Maes. Hierbei handelt es sich nicht um eine wissenschaftliche Bewertung von Forschungsergebnissen im oben angeführten Sinne (siehe „Hintergrundinformationen zum Bewertungsprozess“) durch ein entsprechend qualifiziertes Expertengremium, sondern um die Abhandlung eines Baubiologen und Journalisten. Herausgeber ist das Institut für Baubiologie und Ökologie, welches über Fernlehrgänge Baubiologen ausbildet. Der Autor untermauert seine Aussagen nicht mit entsprechenden wissenschaftlichen Studien. Er setzt sich auch nicht auf die oben angeführte wissenschaftliche Weise mit der Thematik auseinander. Pauschal heißt es bei Maes aus 2005 (5. Auflage), S. 83: „ (…) Wirkungen auf Hormonabläufe sind bekannt, Zusammenhänge mit Selbstmorden entdeckt. Forscher fanden bei Menschen, die in der Nähe von Hochspannungsleitungen leben, Erhöhungen des Hämatokritwertes und Partialdrucks des Blutes, vegetative Dystonie und andere Stresserscheinungen, Verhaltensstörungen und Reaktionsverzögerung, Immunschwäche und Veränderungen der Pulsfrequenz, Migräne und Allergien, Herz- und Kreislaufstörungen, Hyperaktivität und Gedächtnisschwund, Schlaf- und Sehstörungen, Alzheimer und grauen Star, beschleunigtes Krebszellenwachs-

[9] WHO (2005). Electromagnetic fields and public health - Electromagnetic Hypersensitivity. WHO Factsheet 296 http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs296/en/index.html

tum und mehr“. Ein solches Vorgehen der Aneinanderkettung potenzieller schädlicher Wirkungen ohne die entsprechende wissenschaftliche Auseinandersetzung führt zwangsläufig zu Verunsicherungen. Teilweise entsprechen die aufgeführten negativen Einflüsse typischen unspezifischen Stresssymptomen von Elektrosensiblen. Manche Behauptungen sind schlichtweg falsch. Es gibt zum Beispiel keine wissenschaftliche Studie, die den Zusammenhang von extrem niederfrequenten Feldern und dem Auftreten von Allergien systematisch untersucht hat.

Veränderung von Hirnströmen

Das menschliche Gehirn besteht aus Netzwerken von Nerven, welche sich in unterschiedlichen Aktivierungszuständen befinden können. Die Hirnaktivität kann dabei über verschiedene Indikatoren gemessen werden, z.B. durch Veränderungen der elektrischen Spannungs-Zustände, was mit Hilfe des EEG (Elektroenzephalogramm) gemessen werden kann. Eine besondere Wellenform im EEG sind die ereigniskorrelierten Potentiale. Anders als beim spontan gemessenen EEG (das von einem bestimmten "Ereignis" unabhängig auftritt) werden diese Wellenformen entweder durch Sinneswahrnehmungen (z.B. visuelle, akustische, motorische oder somatosensorische Reize) ausgelöst (evoziert) oder sie sind mit kognitiven Prozessen (z. B. Aufmerksamkeit, Gedächtnis) korreliert (ereigniskorreliert). Evozierte Potenziale zeigen also die Verarbeitung des physikalischen Reizes, während die ereigniskorrelierten Potenziale durch "höhere Prozesse" verursacht werden. Eine Schwierigkeit bei der Interpretation von EEG verschiedener Individuen besteht in der ausgeprägten hohen Variabilität zwischen einzelnen Individuen. Diese Variabilität ist weniger stark ausgeprägt bei ereigniskorrelierten und evozierten Potenzialen.

Es gibt viele verschiedene Studien, die den Einfluss von Magnetfeldern auf die Hirnaktivität beim Mensch und bei Tieren untersucht haben, indem die spektrale Leistungsdichte in den Hauptfrequenzbändern des EEG, evozierte oder ereigniskorrelierte Potenziale untersucht wurden (eine detailliert Auflistung befindet sich in „Environmental Health Criteria 238“ der WHO[10], S. 125 ff. und S. 151). Die Studien sind aufgrund ihrer Unterschiedlichkeit im experimentellen Design und in den Expositionsbedingungen nur schwierig zu vergleichen und zu bewerten. Es liegen zudem Inkonsistenzen und widersprüchliche Ergebnisse vor. Die WHO sieht in diesem Bereich noch Forschungsbedarf, insbesondere bei beruflich exponierten Personen und Kindern.

Die von den Einwendern aufgeführten Ergebnisse aus Forschungen zu Veränderungen von Hirnströmen von Münchener und Gießener Wissenschaftlern aus dem Jahre 1998 beziehen sich vermutlich auf Studien der Arbeitsgruppe von Frau Prof. Schienle. Hier wurde ein Zusammenhang von sogenannten Sferics und dem Auftreten von Kopfschmerzen und Veränderungen im EEG untersucht. Bei Sferics handelt es sich um das impulshafte Auftreten elektromagnetischer Felder, die natürlicherweise in der Erdatmosphäre vorkommen. Die Arbeitsgruppen simulierten diese Sferics im 10 kHz-Bereich. Dies ist mit einer sinusförmigen 50 Hz-Exposition der Stromübertragung nicht zu vergleichen.

Herz- und Kreislaufsystem

Experimentelle Untersuchungen der kurzzeitigen sowie langfristigen Exposition bei schwachen extrem niederfrequenten Feldern im Beruf oder aus der Umwelt zeigen, dass das Auftreten von gefähr-

lichen kardiovaskulären Wirkungen sehr unwahrscheinlich ist[10]. Epidemiologische Studien ergeben ebenfalls keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen extrem niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern und dem Auftreten von Herz-Kreislauferkrankungen[11].

Immunsystem

Laut WHO haben experimentelle Studien keine Hinweise auf Wirkungen von niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern auf das blutbildende System und das Immunsystem ergeben[10].

Blut-Hirn-Schranke

Die Blut-Hirn-Schranke (BHS) des Menschen ist eine selektiv durchlässige Schranke zwischen Blut und Hirnsubstanz, durch die der Stoffaustausch mit dem zentralen Nervensystem einer aktiven Kontrolle unterliegt. Die Blut-Hirn-Schranke wird durch die Auskleidung der Hirnkapillaren und durch Gliazellen, die die Nervenzellen umgeben, gebildet. In Bezug auf gesundheitlich relevante physikalische Einwirkungen ist primär die übermäßige Erwärmung zu nennen (Fieber, Sonnenstich), wobei die Durchlässigkeit der BHS für verschiedene, im Gehirngewebe unerwünschte Stoffe, aus dem Blut gefährlich zunehmen kann.

Hochfrequente elektromagnetische Felder (z.B. des Mobilfunks) stehen bei der Beurteilung möglicher gesundheitsschädlicher Einflüsse auf die BHS im Zentrum des Interesses, weil solche Felder grundsätzlich zu einer Gewebeerwärmung führen können. Auswirkungen sind nur bei ausreichender Stärke der Hochfrequenzfelder zu erwarten, wenn eine Gewebeerwärmung nicht mehr vom Wärmekreislauf des Körpers kompensiert werden kann. Frühere tierexperimentelle Hinweise aus den 90er und frühen 2000er Jahren auf eine Erhöhung der BHS-Durchlässigkeit durch schwache mobilfunkähnliche Hochfrequenzfelder ließen sich in späteren Studien, die zum Teil auch im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms durchgeführt wurden[12], überwiegend nicht mehr nachvollziehen. Damit ist aus heutiger Sicht die wissenschaftliche Evidenz zu gering, um im Bereich der Grenzwerte von einer gesundheitlich relevanten Beeinflussung der BHS durch EMF, wie sie beim Mobilfunk vorkommen, sprechen zu können. Zu dieser Einschätzung kamen das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)[13], die Strahlenschutzkommission (SSK) und andere wissenschaftliche Bewertungsgremien, die sich ausführlich mit dem Thema befasst haben[14].

Niederfrequente Felder erzeugen in den Stärken, wie sie für die Allgemeinbevölkerung im Bereich von Leitungen der 50 Hz-Stromübertragung vorkommen, keinerlei Wärme im Körpergewebe des Menschen. Sie sind von daher zunächst bei der Diskussion um mögliche Einflüsse auf die Durchlässigkeit der BHS irrelevant, weil kein Wirkungsmechanismus bekannt ist. Im Niederfrequenz-Bereich liegen derzeit lediglich 15 Studien zu den Wirkungen auf die Blut-Hirn-Schranke vor (siehe www.emf-portal.org), von denen die meisten eine elektrische Puls-Exposition untersuchten oder Felder, die im Magnetresonanztomographen (MRT)vorkommen. Beides ist nicht mit einer sinusförmigen 50 Hz-

[10] World Health Organization (2007). Environmental Health Criteria 238. Extremely low frequency (ELF) fields. http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/index.html
[11] 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
[12] http://www.emf-forschungsprogramm.de/abschlussphase/DMF_AB.pdf (S. 16, S. 32 ff.)
[13] http://www.emf-forschungsprogramm.de/int_forschung/wirk_mensch_tier/stellungnahmen/bhs02.html
[14] http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2011/2011_10.pdf?__blob=publicationFile (S. 28)

Exposition, wie sie bei der Stromübertragung vorkommt, zu vergleichen. Es wurden lediglich drei Studien mit 50 Hz-Expositionen durchgeführt. In einer Studie wurde in einer Untergruppe diabetischer Ratten unter Magnetfeld-Exposition mit 0,5 mT eine erhöhte Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke gefunden. Bei gesunden Ratten und in den beiden anderen Studien wurde keine entsprechende Wirkung gefunden.

Melatonin-Sekretion

Melatonin ist ein Hormon, das in der Zirbeldrüse des Gehirns gebildet und vor allem nachts bei fehlenden Lichteinflüssen auf die Retina ausgeschüttet wird. Melatonin reguliert durch Veränderung seiner Konzentration den Tag-Nacht-Rhythmus bei Mensch und Tier. Am Tag ist die Melatonin-Konzentration im Blut gering und in der Nacht hoch. Der Melatoninspiegel nimmt mit dem Alter ab und zwischen Individuen kann es zu großen Schwankungen kommen. Melatonin ist ein wirkungsvoller endogener Radikalfänger. Die Strahlenschutzkommission (SSK) kommt 2001 in ihrer Empfehlung „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“[15] zu dem Schluss, dass die bisherigen Studienergebnisse ein sehr uneinheitliches Bild bei Tierversuchen und keinen Hinweis für eine gesundheitliche Beeinträchtigung beim Menschen liefern. Aus Sicht der SSK sollten die offenen Fragen durch entsprechende Untersuchungen geklärt werden. Ein aktueller wissenschaftlicher Review von Halgamuge (2012)[16] kommt nach der Bewertung von mehr als 100 Studien zu den Wirkungen von Netzfrequenz-Feldern (50/60 Hz) ebenfalls zu dem Schluss, dass die Untersuchungen aus unterschiedlichen Laboren uneinheitliche Ergebnisse liefern und weiterer Forschungsbedarf nötig ist, insbesondere zu den Langzeitwirkungen. Die Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) stellt 2010 in ihrer Bewertung der gesundheitlichen Wirkungen niederfrequenter Felder fest, dass das neuroendokrine System und insbesondere die Melatonin-Sekretion durch die Exposition von 50-60 Hz elektrischen oder magnetischen Feldern nicht nachteilig beeinflusst wird[17].

Implantate

Aktive implantierbare medizinische Geräte, oft auch als elektronische Implantate bezeichnet, können grundsätzlich von elektrischen und magnetischen Feldern beeinflusst werden. Bei kardialen Implantaten, wie z.B. Herzschrittmachern oder Defibrillatoren kann eine Störung lebensbedrohliche Folgen haben. Ob eine Beeinflussung auftritt, hängt wesentlich von der Stärke der elektrischen und magnetischen Felder ab. Zum Schutz von Personen mit Herzschrittmachern oder implantierbaren Defibrillatoren gibt es in Deutschland verschiedene Normen, die Prüfungen und Verfahren zur Beurteilung der Störbeeinflussbarkeit festlegen. Als Fazit heißt es in DIN 50527-2-1 Anhang F, es "kann geschlossen werden, dass für die meisten Empfindlichkeitseinstellungen von Herzschrittmachern Störbeeinflussungen durch Hochspannungsfreileitungen ausgeschlossen werden können, mit Ausnahme der empfindlichsten Einstellungen bei Herzschrittmachern mit unipolarer Wahrnehmung", wobei unipolare

---

15 http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2001/Grenzwerte_EMF.pdf?__blob=publicationFile

16 Halgamuge MN (2012): Pineal melatonin level disruption in humans due to electromagnetic fields and ICNIRP limits; Radiat Prot Dosimetry 2012: in press

17 ICNIRP (2010): Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz)“, Health Physics 99 (6): 818-836

Systeme heutzutage nicht mehr eingesetzt werden. Dieses Ergebnis kann mit der Forschung für Herzschrittmacher sowie implantierbare Defibrillatoren am Forschungszentrum für elektromagnetische Umweltverträglichkeit (*femu*) der RWTH Aachen bestätigt werden. Am *femu* können sich alle interessierten Implantatträger mit einem Herzschrittmacher oder Defibrillator hinsichtlich ihrer Störsicherheit gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern untersuchen lassen.

Grenzwerte

Eine abschließende Bewertung einer eventuellen gesundheitlichen Wirkung elektrischer, magnetischer oder elektromagnetischer Felder ist ein zeitaufwendiger und schwieriger Prozess, der nur von entsprechenden Expertengremien durchgeführt werden kann. Im Laufe eines solchen Prozesses müssen alle Publikationen aller Studientypen (*in vitro*, tierexperimentelle, epidemiologische etc.) eines bestimmten Frequenzbereiches und mit bestimmten Endpunkten gesammelt und in Hinblick auf ihre individuelle Qualität (z.B. Dosimetrie, Studiendesign, Probengröße, Statistik), Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und Vergleichbarkeit mit anderen Studien bewertet werden. Behörden und Institutionen, die solche Bewertungsprozesse durchführen, sind zum Beispiel die Strahlenschutzkommission (SSK) beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), das Bundesamt für Strahlenschutz oder auf internationaler Ebene die Weltgesundheitsorganisation (WHO), das Internationale Krebsforschungszentrum (International Agency for Research on Cancer; IARC) und die Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; ICNIRP). Hier liegen unterschiedliche umfangreiche Stellungnahmen zu den Wirkungen elektromagnetischer Felder vor. Aus der Zusammenschau der Literatur werden durch die entsprechenden Fachgremien entsprechende Grenzwerte abgeleitet bzw. empfohlen.

Die Expositionsgrenzwerte der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder basieren auf den Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) sowie der Weltgesundheitsorganisation (WHO) aus dem Jahre 1998. Diese sind in der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) – für ihren bisherigen Anwendungsbereich – bereits umgesetzt. Im Jahr 2010 hat die ICNIRP ihre Grenzwertempfehlung überarbeitet („Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz)“, Health Physics 99 (6): 818-836; 2010) Die dort enthaltenen Grenzwerte sollen in einer Änderungsverordnung berücksichtigt werden. [18].

2002 wurden niederfrequente Felder von der "International Agency for Research on Cancer" (IARC), die zur Weltgesundheitsorganisation gehört, in die Klasse 2B als "möglicherweise krebserregend" eingestuft. Ausschlaggebend waren Hinweise aus epidemiologischen Untersuchungen, die einen Zusammenhang von kindlicher Leukämie und einer zeitlich gemittelten Magnetfeld-Exposition der Kinder im Bereich von mehr als 0,3 bis 0,4 µT gefunden haben. Ob diese statistischen Zusammenhänge auf einer kausalen Beziehung beruhen, ist umstritten und wissenschaftlich nicht abschließend geklärt. Die SSK hat deswegen in einer Empfehlung darauf hingewiesen, dass sich aus diesen Zusammenhängen keine belastbaren Kriterien ableiten lassen, die Vorsorgewerte in dieser Größenordnung

[18] http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/1_aenderung_vo_e-reinschrift_begruendung_bf.pdf

unterhalb der wissenschaftlich gesicherten Werte rechtfertigen können[19]. Auch die WHO weist darauf hin, dass aufgrund fehlender konsistenter Ergebnisse im Tierversuch und eines bisher fehlenden vorstellbaren Wirkungsmechanismus nicht von einem ursächlichen Zusammenhang gesprochen werden kann.[20] Gleichzeitig empfiehlt die WHO weitere Forschung diesbezüglich zu initiieren.

Die Bewertungen und Schlussfolgerungen aus dem Bioinitiative-Report von 2007[21] zur Ableitung eines Vorsorge-Grenzwertes von 0,1 µT sind wissenschaftlich umstritten. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat den Bericht unmittelbar nach dessen Publikation einer ersten Prüfung unterzogen und festgestellt, dass er klare wissenschaftliche Schwächen aufweist: „Insbesondere werden Vermischungen der gesundheitlichen Wirkungen von niederfrequenten und hochfrequenten Feldern vorgenommen, die fachlich nicht zulässig sind. Die überwiegende Mehrzahl der dem Report zugrundeliegenden Studien ist nicht neu: Sie wurden bei der Festlegung der derzeit gültigen Grenzwerte bereits berücksichtigt".[22]

Das „ECOLOG-Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung gGmbH" in Hannover hat, wie auch andere privatrechtliche Organisationen, einen eigenen Vorsorgewert zum Schutz vor Einwirkungen magnetischer Felder von Hochspannungsleitungen definiert, der jedoch keinen verbindlichen Charakter hat. Er liegt bei 0,1 µT und damit 1.000-fach unter dem in der 26. BImSchV für 50-Hz-Felder festgelegten Grenzwert. Der Vorsorgewert wird im EMF-Handbuch des ECOLOG-Instituts (2006)[23] auf den Seiten 2-1 – 2-9 (Dokumentseiten 21-29) begründet und basiert auf einer Auswertung von Forschungsergebnissen bis Mitte 2005 durch das ECOLOG-Institut. In der ECOLOG-eigenen fünfstufigen Klassifizierung der Ergebnisse („Nachweis" bis „Schwache Hinweise") werden in einer Grafik auf Seite 2-4 (Dokumentseite 24) 10 von 13 Forschungs-Endpunkten dargestellt, bei denen in entsprechenden Studien noch im Bereich zwischen 0,1 und 1 µT Hinweise für gesundheitliche Auswirkungen und biologische Effekte durch niederfrequente Magnetfelder festgestellt wurden. Die Literaturbasis dieser grafischen Auswertung wird allerdings nicht genannt, es werden nur fünf wissenschaftliche Publikationen exemplarisch zusammengefasst dargestellt. Daher kann nicht beurteilt werden, ob die von ECOLOG verwendete Datenbasis vollständig ist. Das Heranziehen und Bewerten *aller* vorhandenen wissenschaftlichen Ergebnisse ist für eine valide wissenschaftliche Beurteilung, die zur Ableitung und Empfehlung von Grenz- oder Vorsorgewerten führt, jedoch zwingend notwendig. Dieses Vorgehen fordert auch die WHO in ihrem Handbuch „Herstellen eines Dialogs zu den Risiken elektromagnetischer Felder": „Der Wissenschaftler muss darauf achten, dass er bei der Weitergabe wissenschaftlicher Informationen alle verfügbaren Befunde vorlegt, selbst wenn manche Untersuchungen zu entgegengesetzten Resultaten gelangen"[24].

---

[19] SSK (2008): Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und –anwendung;
http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2008/Felder_Energieversorgung.pdf?__blob=publicationFile

[20] WHO (2007), Factsheet 322; Electromagnetic fields and public health;
http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs322/en/index.html

[21] http://www.bioinitiative.org/freeaccess/report/index.htm

[22] http://www.bfs.de/de/elektro/papiere/Bioinitiative.html

[23] http://www.ecolog-institut.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Handbuch/00_EMF-Handbuch_Komplett.pdf

[24] WHO Handbuch „Herstellen eines Dialogs über die Risiken elektromagnetischer Felder, 2002, S. 37 f. (http://www.who.int/peh-emf/publications/German_risk_handbook.pdf)

Die Darstellung des ECOLOG-Instituts wird auch vom „Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.“ (BUND) in einem Hintergrundpapier (2012)[25] übernommen (S. 9). Die dort vorgenommene anschließende Betrachtung führt jedoch zu einem nochmals 10-fach niedrigeren empfohlenen Vorsorgewert im Vergleich zum ECOLOG-Institut, indem Werte von 0,01 µT als „Bewertungsmaßstab zur Gefahrenabwehr“ und <0,1 µT als „Bewertungsmaßstab zur Vorsorge“ angegeben werden (S. 11 bzw. 13). Auch für diese Empfehlung wird keine wissenschaftliche Datenbasis genannt.

In Ergänzung der bestehenden Grenzwerte fordert das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zum Schutz vor gesundheitlichen Auswirkungen elektrischer und magnetischer Felder von Stromleitungen Vorsorgemaßnahmen, definiert jedoch keine Vorsorgewerte[26].

HGÜ

HGÜ (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung)

Gleichstromleitungen (HGÜ) erzeugen wie Wechselstromleitungen elektrische und magnetische Felder. Bei den Gleichstromleitungen handelt es sich um statische elektrische und magnetische Felder, während Wechselstromleitungen elektrische und magnetische Wechselfelder erzeugen. Von Freileitungen gehen in beiden Fällen (HGÜ wie Wechselstrom) magnetische und elektrische Felder aus. Bei Erdkabeln tritt außerhalb des Kabels nur ein magnetisches Feld auf, das elektrische Feld wird vom Kabelschirm abgefangen.

Magnetische Felder - Wirkungen auf den Menschen

Das statische Magnetfeld von HGÜ-Leitungen gleicht in Qualität und Intensität (bei Höchstspannung) dem gleichzeitig vorhandenen Erdmagnetfeld. Die Stärke des statischen Magnetfeldes bewegt sich bei HGÜ in der gleichen Größenordnung wie das magnetische Wechselfeld bei Wechselstromleitungen. Magnetische Wechselfelder lösen im Körper eines Menschen schwache wirbelförmige Körperströme aus, die nicht wahrnehmbar sind. Statische Magnetfelder von HGÜ lösen solche Körperströme nur dann aus, wenn der Mensch sich im Feld bewegt.

Elektrische Felder - Wirkungen auf den Menschen

Elektrische Felder lösen eine elektrische Aufladung an der Körperoberfläche aus. Es kann zu ungefährlichen Wahrnehmungen auf der Körperoberfläche kommen (aufgeladene Körperhaare, die sich gegenseitig abstoßen und dabei wahrnehmbar aufrichten). Bei der Berührung schlecht geerdeter metallischer Objekte, die sich im elektrischen Feld von Freileitungen aufgeladen haben (z.B. Automobile oder Busse) fließt die Ladung durch den Körper des Menschen ab. Solche Ströme sind im Körper nicht spürbar und ungefährlich. Bei HGÜ-Freileitungen ist der zu erwartende Effekt wegen der stärkeren elektrischen Felder jedoch größer als bei Wechselstrom-Freileitungen.

[25] http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/technischer_umweltschutz/20120126_hintergrund_elektromagnetische_felder.pdf
[26] http://www.bfs.de/de/elektro/nff/schutz/recht.html

Gesundheitliche Wirkungen

Wenn einzelne Gruppierungen wie z.B. Bürgerinitiativen oder Umweltverbände davon sprechen, dass Gleichstrom-Leitungen „gesünder“ sind als Wechselstrom-Leitungen, könnten sie damit meinen, dass bei Wechselstrom-Leitungen ein Zusammenhang mit Leukämie im Kindesalter festgestellt wurde (s.o.), der bei Gleichstrom, aufgrund der qualitativen und quantitativen Ähnlichkeit der statischen Magnetfeld-Komponente zum Erdmagnetfeld, nicht zu erwarten ist. Studien, die einen Zusammenhang von Gleichstrom und Leukämie im Kindesalter untersucht haben, wurden bisher nicht durchgeführt. Gleichwohl stellt die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) in ihrer Empfehlung aus dem Jahr 2008[27] fest, dass „Gleichfelder grundsätzlich biologisch weniger effizient als Wechselfelder sind. Dies hat zwei Gründe: Einerseits ist für die Erregung von Nerven- und Muskelzellen durch intrakorporale Stromdichten außer der ausreichenden Amplitude auch eine zeitliche Änderung des Reizes erforderlich, die bei Gleichfeldern naturgemäß fehlt. Andererseits sind die Wechselwirkungsmechanismen, z.B. die Induktion von intrakorporalen Stromdichten, weniger wirksam“.
Die Zunahme der Exposition des Menschen und der Umwelt durch statische Felder nahm auch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) Anfang der 2000er Jahre zum Anlass, den Wissensstand zu den möglichen Wirkungen von statischen elektrischen und magnetischen Feldern auf die Gesundheit umfassend zu bewerten. Im Rahmen des WHO Environmental Health Criteria Programme 2006 entwickelte die WHO ein „Health Criteria Document“ zu statischen elektrischen und magnetischen Feldern[28], in dem der aktuelle Wissensstand dargestellt sowie Wissenslücken beschrieben und zukünftiger Forschungsbedarf formuliert werden. Forschungsbedarf wird insbesondere noch im Bereich starker statischer Magnetfelder gesehen, wie sie zum Beispiel im Bereich von Magnetresonanztomographen oder Aluminiumschmelzwerken vorkommen. Zukünftige epidemiologische Studien mit hoher Priorität empfiehlt die WHO daher insbesondere für beruflich exponierte Personengruppen. Das „Health Criteria Document“ zu statischen elektrischen und magnetischen Feldern der WHO bildete zusammen mit weiteren Dokumenten die Grundlage für die ICNIRP-Empfehlung zu statischen Magnetfeldern[29].

Ionisation von Luftmolekülen („Koronaentladung“, „Korona-Effekt“)

Aufgeladene („ionisierte“) Luftmoleküle und Aerosole (d.h. mit den Luftmolekülen vermischte, winzige feste und flüssige Partikel) sind ein spezielles Thema bei der Diskussion um gesundheitliche Wirkungen von Freileitungen (Wechselstrom *und* Gleichstrom). Die Luftionen entstehen in der sogenannten „Korona“ (ein Bereich mit partiellem elektrischem Durchschlag in der Luft) in einer Region von wenigen Zentimetern um die Leiterseile herum. Die grundsätzliche Wirkung von Luftionen auf Mensch und Tier ist seit fast 100 Jahren in zahlreichen wissenschaftlichen Studien untersucht worden, oft mit dem Ziel, mögliche therapeutische Wirkungen zu erforschen. Ab den 1970er und 1980er Jahren stand diese Forschung auch im Zusammenhang mit möglichen Auswirkungen von Gleichstrom-Freileitungstrassen, die in dieser Zeit im Ausland (vor allem in den USA) bereits Verbreitung

[27] SSK (2008): Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und – anwendung;
http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2008/Felder_Energieversorgung.pdf?__blob=publicationFile (S. 13)

[28] Static Fields (WHO EHC Monograph No. 232), WHO Environ Health Crit 2006; http://www.who.int/peh-emf/publications/EHC_232_Static_Fields_full_document.pdf

[29] ICNIRP (2009): Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Phys 2009; 96 (4): 504 – 514; http://www.icnirp.de/documents/statgdl.pdf

gefunden hatten. Ein Review aus dem Jahr 1997 fasst die zu diesem Zeitpunkt bekannten Fakten und Forschungsergebnisse zu Luftionen mit Blick auf den Vergleich Wechselstrom-/Gleichstrom-Freileitungen zusammen[30]. In dem Review wird insgesamt von großen methodischen Problemen in diesem Forschungszweig berichtet (vor allem unkontrollierte Störeinflüsse durch Ozonproduktion und die Aufladung von Körperhaaren bei der experimentellen Produktion der Luftionen im Labor). Auf den Seiten 20-21 kommen die Autoren zu dem Fazit, dass weder Tierstudien (hier auch Freilandstudien an Vieh) noch Studien am Menschen Nachweise erbracht haben, dass Luftionen irgendwelche schädlichen Effekte hervorrufen. Tatsächlich bestünde eine beträchtliche Unsicherheit, ob es irgendwelche biologischen Reaktionen auf Luftionen gibt. Das Dokument bietet eine umfassende Dokumentation der bis 1997 vorhandenen wissenschaftlichen Literatur über medizinische und tierexperimentelle Studien, in denen die Wirkung von Luftionen bzw. Koronaentladungen untersucht wurden.

Das von der BNetzA begleitend zum Netzentwicklungsplan Strom veröffentlichte „Gutachten zu Umweltauswirkungen unterschiedlicher Netzkomponenten“ beschäftigt sich auf den Seiten 23 ff., 28 f., 37, 117 f. und 120 f. ausführlich mit aktuellen wissenschaftlichen Fakten zum Thema „Koronaentladungen“[31]. Im Folgenden sind die wesentlichen Punkte zusammengefasst:

Die auch „Korona-Ionen“ genannten ionisierten Luftmoleküle entstehen, wie oben erwähnt, im normalen Betrieb direkt an den stromführenden Leiterseilen durch den Vorgang der „Koronaentladung“. Die Wolken von elektrisch aufgeladenen Luftmolekülen (sogenannte „Raumladungswolken“) können mit dem Wind seitlich der Stromtrasse verdriftet werden. Der Effekt ist bei Gleichstromleitungen wesentlich stärker ausgeprägt als bei Wechselstromleitungen, weil die ständige Ladungsumkehr beim Wechselstrom die ionisierten Moleküle (und auch die Aerosolpartikel) schneller neutralisiert. Dadurch kommt es nur bei Gleichstrom-Freileitungen zu nennenswerten Verdriftungseffekten. Durch die Bildung freier Radikale in der Luft können im Bereich der Korona zudem Luftschadstoffe entstehen (z. B. Ozon und Stickoxide), die normalerweise rasch durch chemische Reaktionen oder Bindung an andere Luftinhaltsstoffe neutralisiert werden und dadurch keine große Reichweite haben (ab 4 Meter Abstand vom Leiterseil ist nur noch ein unerheblicher Beitrag zur Gesamtkonzentration nachweisbar). Eine Hypothese über eine Erhöhung der Konzentration von Schadstoffpartikeln bestimmter Größe in der Nähe von Hochspannungs-Freileitungstrassen durch Aufladungseffekte in ionisierter Luft und nachfolgende gesundheitliche Auswirkungen durch erhöhte Schadstoffablagerung in der Lunge des Menschen wird hauptsächlich von einer Arbeitsgruppe um Denis Henshaw in Bristol vertreten (http://www.electric-fields.bris.ac.uk/HREG_front.htm). Sie konnte in unabhängigen Studien bisher nicht ausreichend bestätigt werden. Ausführlich diskutiert und mit Literaturquellen belegt wird dies in dem „Gutachten zu Umweltauswirkungen unterschiedlicher Netzkomponenten“ (s.o.) auf den Seiten 28 f.

---

[30] Bailey et al. (1997): HVDC power transmission environmental issues review. Oak Ridge National Laboratory Review, 1 – 114, http://emf-portal.de/viewer.php?aid=21286&sid=1e9dd36f76dbf43020a29e4744cb6e27&sform=8&pag_idx=0&l=g

[31] http://www.netzausbau.de/cln_1931/SharedDocs/Downloads/DE/Umweltbericht_2012/Runge-Gutachten.html
http://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Umweltbericht_2012/Runge-Gutachten.pdf?__blob=publicationFile

Konverterstationen

Konverterstationen, die zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom und umgekehrt erforderlich sind, bestehen aus einer großen Konverterhalle (z. B. 50 x 200 Meter, 20 Meter hoch), Außenanlagen, die noch größere Abmessungen haben können (Schaltfelder, Umspannportale, bis 15 Meter Höhe) sowie Strommasten in direkter Nähe (bis 75 Meter Höhe). Innerhalb der Station und an den Zu- und Ableitungsstromtrassen entstehen elektrische und magnetische Wechsel- und Gleichfelder. Ihre Stärken hängen von der im jeweiligen Leiter geführten Spannung bzw. vom dort gerade fließenden Strom ab. Wie bei konventionellen Umspannstationen entstehen elektrische Felder im Bereich der Außenanlagen und an den Stromleitungen in direkter Nähe. Im Bereich des Konverters werden sie von der Metallhülle der Halle abgeschirmt. Magnetfelder gehen von allen Komponenten einer Konverterstation aus. Das magnetische Gleichfeld des Konverters liegt in einem Beispielfall (von Amprion geplante Konverterhalle in Osterath) im Abstand von 100 Metern von der Halle bei unter 5% des natürlichen Erdmagnetfelds. Geräuschemissionen gehen vor allem von Transformatoren und Luftkühlern aus. Die Emissionen werden im Bereich der Transformatoren gedämmt und sind nicht höher als bei konventionellen Umspannwerken (die genannten Zahlen und Fakten wurden z.T. entnommen aus[32] und geben Einschätzungen der Firma Amprion wieder).

[32] http://www.amprion.net/sites/default/files/pdf/121025_Information_Osterath.pdf