

Isselburg21

Am Mühlenberg 25

46419 Isselburg

02874 902797

info@isselburg21.dewww.isselburg21.dewww.facebook.com/isselburg21Isselburg21, Am Mühlenberg 25, 46419 Isselburg

An
Netzentwicklungsplan Strom
Postfach 10 05 72
10565 Berlin

Isselburg, 03.07.2012

Geplante 380 KV Leitung zwischen Wesel (D) und Doetinchem (NL)
Forderung einer Erdverkabelung

Sehr geehrte Damen und Herren,

wir, die Stichting „Achterhoek voor 380 KV ondergronds“ und die Bürgerinitiative „Isselburg21“, arbeiten grenzübergreifend an einem gemeinsamen Ziel:

Die geplante 380 KV Hochspannungsleitung zwischen Wesel (D) und Doetinchem (NL) als Gleichstromerdverkabelung im geplanten Trassenkorridor!

Aus unserer Sicht sprechen zahlreiche Gründe für unsere Forderung, und wir möchten Ihnen diese hier vorstellen:

1. Erdverkabelung wurde beim Raumordnungsverfahren nicht untersucht – Warum?

Im Raumordnungsverfahren zur geplanten 380 KV Hochspannungsautobahn zwischen Wesel(D) und Doetinchem(NL) wurde eine mögliche Erdverkabelung der Trasse nicht untersucht – weder als Wechselstrom- noch als Gleichstromleitung.

In der Basiseffektenstudie, welche im Vorfeld von den Netzbetreibern durchgeführt wurde, hat man sich frühzeitig auf eine Hochspannungsfreileitung festgelegt.

Bei der Trasse Wesel – Doetinchem handelt es sich laut Planungsunterlagen um eine reine Transporttrasse, wir sprechen hier also über eine „Punkt zu Punkt“-Verbindung ohne Abzweig- und Verteilpunkte. Da in der Basiseffektenstudie angeführt wurde, dass eine Gleichstromerdverkabelung für eine derartige Verbindung sehr gut geeignet ist, hätte eine Untersuchung dieser Möglichkeit zwingend erfolgen müssen. Auch führt die Trasse durch einfaches Gelände und große, bautechnische Hindernisse sind nicht

Isselburg21

Am Mühlenberg 25

46419 Isselburg

Vorsitzender:

Michael Kempkes

Volksbank Bocholt eG

Konto-Nr. 617.055.300

Blz: 428.600.03

vorhanden (Berge, Felsen und große Flüsse werden nicht tangiert/durchschnitten). Auch dies begünstigt das Anlegen einer Erdverkabelung.

In § 2 des Raumordnungsgesetzes ist folgendes vermerkt:

§ 2 Grundsätze der Raumordnung

(1) Die Grundsätze der Raumordnung sind im Sinne der Leitvorstellung einer **nachhaltigen** Raumentwicklung nach § 1 Abs. 2 anzuwenden und durch Festlegungen in Raumordnungsplänen zu konkretisieren, soweit dies erforderlich ist.

(2) Grundsätze der Raumordnung sind insbesondere:

1. Im Gesamttraum der Bundesrepublik Deutschland und in seinen Teilräumen sind **ausgeglichene soziale, infrastrukturelle, wirtschaftliche, ökologische und kulturelle Verhältnisse anzustreben**. Dabei ist die nachhaltige Daseinsvorsorge zu sichern, nachhaltiges Wirtschaftswachstum und Innovation sind zu unterstützen, Entwicklungspotenziale sind zu sichern und Ressourcen nachhaltig zu schützen. Diese Aufgaben sind gleichermaßen in Ballungsräumen wie in ländlichen Räumen, in strukturschwachen wie in strukturstarken Regionen zu erfüllen. Demographischen, wirtschaftlichen, sozialen sowie anderen strukturverändernden Herausforderungen ist Rechnung zu tragen, auch im Hinblick auf den Rückgang und den Zuwachs von Bevölkerung und Arbeitsplätzen sowie im Hinblick auf die noch fortwirkenden Folgen der deutschen Teilung; regionale Entwicklungskonzepte und Bedarfsprognosen der Landes- und Regionalplanung sind einzubeziehen. Auf einen Ausgleich räumlicher und struktureller Ungleichgewichte zwischen den Regionen ist hinzuwirken. Die Gestaltungsmöglichkeiten der Raumnutzung sind langfristig offenzuhalten.

2. **Die prägende Vielfalt des Gesamttraums und seiner Teilräume ist zu sichern**. Es ist dafür Sorge zu tragen, dass Städte und ländliche Räume auch künftig ihre vielfältigen Aufgaben für die Gesellschaft erfüllen können. Mit dem Ziel der Stärkung und Entwicklung des Gesamttraums und seiner Teilräume ist auf Kooperationen innerhalb von Regionen und von Regionen miteinander, die in vielfältigen Formen, auch als Stadt-Land-Partnerschaften, möglich sind, hinzuwirken. Die Siedlungstätigkeit ist räumlich zu konzentrieren, sie ist vorrangig auf vorhandene Siedlungen mit ausreichender Infrastruktur und auf Zentrale Orte auszurichten. **Der Freiraum ist durch übergreifende Freiraum-, Siedlungs- und weitere Fachplanungen zu schützen**; es ist ein großräumig übergreifendes, ökologisch wirksames Freiraumverbundsystem zu schaffen. **Die weitere Zerschneidung der freien Landschaft und von Waldflächen ist dabei so weit wie möglich zu vermeiden**; die Flächeninanspruchnahme im Freiraum ist zu begrenzen.

Auf der Grundlage dieser gesetzlichen Vorgabe und der oben genannte Gründe fordern wir eine erneute Untersuchung der möglichen Trasse, dieses mal unter Einbeziehung der Gleichstromerdverkabelung.

2. Gesundheitliche Auswirkungen einer 380 KV Freileitungstrasse

Aus den Medien kann man zahlreichen Berichten und Studien entnehmen, dass eine 380 KV Freileitungstrasse sehr wahrscheinlich negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen hat. Genannt werden hier die signifikant steigenden Risiken, an Kinderleukämie, Lungen- oder Hirntumoren, Fehlgeburten, Brustkrebs und Alzheimer zu erkranken.

Die in der Luft vorhandenen Partikel werden durch die Stromleitungen elektrostatisch aufgeladen und dann mit dem Wind fortgetragen. Wenn die unter Aufladung stehenden Schmutzteilchen vom Menschen eingeatmet werden, können sie sich wegen ihrer elektrischen Ladung viel leichter in der Lunge festsetzen und so leichter eine krebsauslösende Rolle spielen. (Quelle: Krebs-Forschungsinstitut der Bristol University,UK)

Von den Netzbetreibern liegt hierzu **keine** Studie vor.

Aus diesem Grund fordern wir die Netzbetreiber auf, Gutachten zu erbringen, aus denen hervorgeht, wie bei bereits bestehenden 380 KV Trassen in der näheren und weiteren Umgebung das Auftreten elektrostatisch aufgeladener Luftpartikel quantifizierbar ist. Zudem muss der medizinische Nachweis erbracht werden, dass die aufgeladenen Partikel in menschlichem (oder tierischem) Gewebe keinerlei Auswirkungen hat – weder kurz-, noch langfristig.

Isselburg21

Am Mühlenberg 25

46419 Isselburg

Vorsitzender:

Michael Kempkes

Volksbank Bocholt eG

Konto-Nr. 617.055.300

Biz: 428.600.03

Im Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland steht in Artikel 2 geschrieben: „(2) Jeder hat das Recht auf Leben und körperliche Unversehrtheit. Die Freiheit der Person ist unverletzlich. In diese Rechte darf nur auf Grund eines Gesetzes eingegriffen werden.“

Aufgrund dieses Grundsatzes darf aus unserer Sicht keine Freileitung erstellt werden, solange eine Gesundheitsgefährdung für die Anwohner nicht definitiv ausgeschlossen werden kann.

3. Die Kostenfrage

Von den Netzbetreibern wird immer wieder angeführt, dass die Erstellung einer Erdverkabelung deutlich teurer ist als die Erstellung einer Freileitung. Wenn man in der Kostenkalkulation nur die reinen Baukosten einrechnet, dann stimmt das sicherlich.

Werden aber alle mit der Erstellung und dem Betrieb von Hochspannungsleitungen verbundenen Kosten mit einbezogen, ergibt sich ein ganz anderes Bild. Neben den reinen Baukosten sind z.B. folgende Kosten mit zu berücksichtigen:

- Wertminderung von Grund, Boden und Gebäuden im Bereich der Trasse
- Wartungs-, Erhaltungs- und Betriebskosten
- Wesentlich höhere Kosten durch Leistungsverluste beim Stromtransport über Freileitungen
- Volkswirtschaftlicher Schaden durch erhöhte Kosten für das Gesundheitssystem (s. Punkt 2)
- Volkswirtschaftlicher Schaden durch fehlende Einnahmen im Tourismusbereich
- Kosteneinsparung durch sofortige Umsetzung von Erdkabeln, da der Protest aus der Bevölkerung ausbleibt, bzw. sich verringert.

Zu einer solchen Kostenbetrachtung haben wir Ihnen als Anlage 1 einen aktuellen Bericht vom Ecolog Institut (EMF Monitor) beigelegt. Dieser beschäftigt sich ausführlich mit den Kosten für die verschiedenen Leitungstrassen. Die Baukosten für einen Kilometer 3000 MW Freileitung belaufen sich auf rund 0,8 Mio. Euro. Die Kosten für kunststoffisolierte Erdkabeltrassen liegen in unserem Fall bei maximal 3,2 Mio. Euro pro Kilometer (wobei wir hier noch von einer Konverter-Station in Wesel ausgehen, die aber wahrscheinlich nicht gebraucht wird – s. Punkt 4).

Die Betriebskosten sind bei Erdkabeln mit rund 1000,- Euro pro Kilometer und Jahr deutlich günstiger als bei Freileitungen mit 3000,- Euro pro Kilometer und Jahr. Besonders bei den Kosten für Stromverluste schneiden Erdkabel deutlich besser ab. Sie betragen bis zu 68.000,- Euro pro Jahr und Kilometer, bei Freileitungen schlagen sie mit bis zu 153.000,- Euro pro Jahr und Kilometer zu Buche.

Damit wird deutlich, dass die Gleichstromerdverkabelung sogar die günstigere Alternative ist.

Die Kosten der Netzbetreiber werden nach derzeitiger Rechtslage über 40 Jahre abgeschrieben und auf den gesamten Stromverbrauch umgelegt. Selbst wenn die benötigten ca. 1000 km Freileitungen komplett als Erdkabel verlegt würden, würde dies für eine Familie Mehrkosten von nicht einmal 1,- Euro pro Jahr bedeuten (bei einem angenommenen Verbrauch von 4.500 kWh pro Jahr). (Basis: Protokoll 847. Sitzung des Deutschen Bundesrats vom 19.09.2008, Seite 261 und 262)

Isselburg21

Am Mühlenberg 25
46419 Isselburg
Vorsitzender:
Michael Kempkes

Volksbank Bocholt eG
Konto-Nr. 617.055.300
Blz: 428.600.03

4. Stabilität der Leitungen

Ein weiteres Argument der Netzbetreiber gegen eine Gleichstromerdverkabelung ist die angeblich geringere Stabilität der Netzverbindung. Dem gegenüber haben sie selbst (die Firma Amprion) mit Bericht vom 23.04.2012 (s. Anlage 2) mitgeteilt, dass der Stromtransport mittels Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) als Freileitung getestet wurde und bis 2019 zum Einsatz kommen soll. Die Versorgungssicherheit der Stromkunden könne dadurch **erhöht** werden.

Außerdem gibt es bereits viele Trassen weltweit, die belegen, dass man im Zusammenhang mit Gleichstrom-Erd(oder: See-)verkabelung nicht von geringerer Leitungsstabilität sprechen kann. Als Beispiel können hier die Leitungen BritNed und NorNed genannt werden, welche von Tennet (Partner von Amprion für den niederländischen Teil der Trasse Wesel-Doetinchem) betrieben werden. Wir gehen davon aus, dass Amprion und Tennet nur Techniken einsetzen und per Gesetz einsetzen dürfen, die einen stabilen Netzbetrieb gewährleisten.

Da der Stromtransport per Gleichstromkabel zwischen dem Umspannwerk Niederrhein (Wesel) und Baden Württemberg, in einer vorhandenen Trasse, eingesetzt werden soll, wäre eine Anbindung zur geplanten Trasse Wesel – Doetinchem räumlich schon erstellt. Dies könnte dann auch zur Folge haben, dass sich die Kosten für dieses Vorhaben deutlich verringern, wenn man in Wesel keine Konverter-Station benötigen würde (s. Punkt3).

Ein weiterer Aspekt zum Thema Stabilität von Freileitungen:

Wir möchten an dieser Stelle an zahlreiche umgekippte Strommasten im Münsterland im Winter 2005 erinnern. Das ist zwar eine andere Art von Stabilität, aber die sollte man auch im Blick haben.

5. Erhaltung der Natur und Umwelt/Ökologische Auswirkungen

Mehrere wissenschaftliche Untersuchungen des US Fish and Wildlife Service haben ergeben, dass in den USA alleine durch Zusammenstöße mit höheren Strommasten jährlich 200 Millionen Vögel ums Leben kommen. Allerdings geht die Behörde von weitaus mehr tödlichen Kollisionen von Vögeln mit Hochspannungsleitungen aus, da nur ein Bruchteil der verunglückten Vögel tatsächlich gefunden wird, bevor irgendwelche Aasfresser sie vertilgt haben. In den 1980er Jahren ging man noch von „nur“ 2.500 toten Vögeln pro Jahr und Mast aus. Mittlerweile liegen die Vermutungen der Behörden im Bereich einer halben Milliarde Vögel pro Jahr in den USA, die durch Strommasten tödlich verunglücken. Geht man dann noch davon aus, dass in den Nistzeiten der Vögel die Versorgung der Nachkommen der verunglückten Altvögel zu weiteren Ausfällen führt, dürfte die Verlustzahl weit oberhalb einer halben Milliarde Tiere liegen. Diese Zahlen lassen sich durchaus auch auf Mitteleuropa übertragen, da die nordamerikanische und die europäischen Avifauna vielerlei verwandtschaftliche Linien erkennen lassen und somit Parallelen bestehen.

Bei verschiedenen Arten haben Vogelphysiologen wie bspw. Robert Beason bei der Untersuchung der Augen und des Gehirns der Vögel festgestellt, dass die winzigen Magneteilchen im Kopf der Vögel dazu dienen, sich am Magnetfeld der Erde zu

orientieren. Dieser Mechanismus zur Aktivierung des Kompasses ist mit dem Sehsystem der Tiere gekoppelt; das kurzwellige Ende des Spektrums, Violett, Blau und Grün, löst nützliche Orientierungsreize aus. Dies führt dazu, dass die Vögel beim Aussenden der längeren roten Wellen die Orientierung verlieren, eben jene Beleuchtungen auf Sendemasten, die Flugzeugpiloten des Nachts visuell warnen sollen. Ein blinkender Strommast ist nachts anlockend und zugleich tödlich, da Vögel besonders bei schlechtem Wetter instinktiv veranlasst werden, auf helles Licht zuzufiegen. Vor der Nutzung der Elektrizität war das ausschließlich der Mond. Heute sind dies diverse künstliche Lichtreize, wozu eben auch die Blinklichter der Strommasten zählen.

Eine weitere Gefahr stellen Stromleitungen für Vögel mit größeren Spannweiten bzw. größere Vogelarten dar, die in größeren Schwärmen ziehen, etwa den sehr häufig bei uns vorkommenden Wildgänsen. Die Spannweiten von Greifvögeln wie Mäusebussarden oder anderen größeren Vögeln sind so groß, dass sie mit ihren Flügel zwei Leitungen berühren können und damit einen Stromkreislauf bilden. Immer wieder werden wir von Menschen auf die Kadaver größerer Vögel im Umkreis großer Masten hingewiesen.

In Mitteleuropa sterben 70% der Weißstörche durch Kollisionen mit Strommasten oder durch tödliche Stromschläge. Ergänzend sei dazu an dieser Stelle angemerkt, dass die **Netzbetreiber der Aufforderung des Gesetzgebers**, die Strommasten deutlich mehr abzusichern und diese Maßnahme bis Ende 2012 abzuschließen, **noch nicht annähernd ausreichend nachgekommen sind**.

Aus diesen Gründen halten wir Erdkabel für die einzige naturverträgliche Alternative zur Stromleitung. Hochspannungsmasten sind aus Gründen des Vogel- und Naturschutzes grundsätzlich abzulehnen.

Wir haben im Bereich der geplanten Trasse noch relativ unberührte, münsterländische Parklandschaft, teils unter Naturschutz und das weithin als „Perle des Westmünsterlandes“ bekannte Baudenkmal Wasserburg Anholt. Alle sprechen zur Zeit von „Nachhaltigkeit“ und „Schutz von gewachsenen Kulturlandschaften“ usw.

Hier wäre die Möglichkeit, das auch mal umzusetzen und nicht immer nur den kurzfristigen Profit einiger weniger als Entscheidungsgrundlage zu nehmen.

Hierzu ein Auszug aus dem aktuell erstellten Koalitionsvertrag von SPD und Grünen hier in NRW: „Wir stehen konsequent dafür ein, Profitstreben durch Raubbau und Verschwendung nicht weiter zuzulassen, sondern durch nachhaltiges Wirtschaften dauerhaft unsere Lebensgrundlagen zu erhalten“.

6. **Stichwort-Flächenverbrauch**

Wie bereits oben beschrieben ist im Raumordnungsgesetz vermerkt, dass die Flächeninanspruchnahme im Freiraum zu begrenzen ist. Eine 380 KV Freileitungstrasse mit einem bis zu 90 Meter breiten Schutzstreifen führt zu einem unnötig hohen Flächenverbrauch. In diesem Bereich können keine Bäume oder Sträucher gepflanzt werden, außerdem dürfen keine Gebäude errichtet werden. Bei einer Trassenlänge von rund 58 km (Wesel bis Doetinchem) und einer Trassenbreite von durchschnittlich 80 Metern ergibt sich hier ein Flächenverbrauch von rechnerisch 464 ha (Berechnung: $80 \text{ m} \times 58.000 \text{ m} = 4.640.000 \text{ m}^2 = 464 \text{ ha}$)

Isselburg21

Am Mühlenberg 25

46419 Isselburg

Vorsitzender:

Michael Kempkes

Volksbank Bocholt eG

Konto-Nr. 617.055.300

Blz: 428.600.03

Bei der von uns geforderten Gleichstromerdverkabelung ist der Flächenverbrauch deutlich geringer und entspricht damit ausdrücklich den Anforderungen des Raumordnungsgesetzes. Der Flächenverbrauch wird auf rund 27 ha reduziert (Berechnung: $4 \text{ m} \times 58.000 \text{ m} = 232.000 \text{ m}^2 = 23,2 \text{ ha} + 3,8 \text{ ha}$ für Konverter = 27 ha). Eine landwirtschaftliche Nutzung ist im Bereich unter den Freileitungen eingeschränkt möglich, im Gegensatz zum Erdkabel, hier kann der Ackerbau uneingeschränkt betrieben werden. Aus Erfahrung und zahlreichen Gesprächen mit Landwirten wissen wir, dass die Masten bei Feld- und Ackerarbeiten störende Elemente sind, so dass auch aus Sicht der Landwirtschaft die Erdverkabelung vorteilhafter ist.

7. Geräusentwicklung einer 380 KV Hochspannungsfreileitung

An der Oberfläche hochspannungsführender Leiterseile entstehen elektrische Felder, welche in erster Linie durch die Betriebsspannung und die Oberflächenbeschaffenheit der Leiterseile beeinflusst werden. Eine neu entwickelte und in Laborversuchen untermauerte Theorie geht davon aus, dass bei hohen Betriebsspannungen, vor allem bei Regen, lokale elektrische Entladungen stattfinden. Diese führen zu einer lokalen Ionisation der Umgebungsluft. Der Vorgang wird in der Elektrotechnik als Koronaentladung bezeichnet. Dieses Phänomen führt nicht nur zu Energieverlusten (siehe 3. Die Kostenfrage), sondern erzeugt auch bei feuchten Wetterlagen Geräusche die als Knistern, Prasseln oder auch als Brummen beschrieben werden. (Quelle: <http://www.kurz-fischer.de/fileadmin/img/pdf/Veroeffentlichungen/005%29%20Vortrag%20Koronagerauesche%20Manuskript.pdf>)

In den Niederlanden wurde im Dorf Oostzaan (Nord-Holland) eine bestehende 150 KV Hochspannungsfreileitung, ohne Information der Öffentlichkeit, auf eine Betriebsspannung von 380 KV erhöht. Viele besorgte Bürger haben die Stadtverwaltung angerufen wegen ungewöhnlich lauter Geräusche der Stromleitungen. Dadurch wurde die vorgenommene Änderung an der Stromleitung erst bekannt.

8. Grenzwerte für Magnetfelder

In Deutschland gilt für Magnetfelder im Bereich von Hochspannungsleitungen ein Grenzwert von 100 Mikrottesla. **Das ist absolut inakzeptabel!** In anderen europäischen Staaten sind diese Werte deutlich geringer angesetzt (Niederlande: 0,4 Mikrottesla; Schweiz: 1 Mikrottesla, Italien 0,5 Mikrottesla im Jahresmittel, Schweden 0,2 Mikrottesla an Schulen und Kindergärten, USA 0,2 Mikrottesla an Neubaugebieten usw.). Selbst die WHO stuft eine Belastung von 0,3 bis 0,4 Mikrottesla als potentielles Krebsrisiko für Menschen ein (Jahr 2001).

Hier einige Aussagen zum Thema:

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Schweiz:
"Seit über 20 Jahren besteht der Verdacht, dass Magnetfelder der Stromversorgung ein Risikofaktor für Leukämie bei Kindern sind. Die wissenschaftlichen Ergebnisse dazu waren lange Zeit uneinheitlich und ließen keinen klaren Schluss zu. Im Sinn der Vorsorge hatte der Bundesrat auch für diese Magnetfelder in der NIS-Verordnung von Ende 1999 einen Anlagegrenzwert festgelegt. Er beträgt 1 Mikro-Tesla, dies entspricht einem Hundertstel des Wärmegrenzwertes der WHO. Heute, nicht einmal 2 Jahre nach

Isselburg21

Am Mühlenberg 25
46419 Isselburg
Vorsitzender:
Michael Kempkes

Volksbank Bocholt eG
Konto-Nr. 617.055.300
Blz: 428.600.03

Erlass der NISV, ist sich die Wissenschaft weitgehend einig, dass Magnetfelder möglicherweise krebserregend sind, und zwar bereits ab Dauerbelastungen von 0,4 Mikro-Tesla. Die Verdachtsmomente haben sich somit bestätigt. Die Schweiz war daher gut beraten, frühzeitig vorgesorgt zu haben." (Vortrag Dr. Philippe Roch, Direktor BUWAL Fachtagung SICTA 25. September 2001)

Krebs fördernde Wirkung schwacher Magnetfelder ab 0,2 Mikrottesla:
Eine Untersuchung des Instituts für medizinische Statistik und Dokumentation der Universität Mainz, veröffentlicht im März 2001, bestätigte den Zusammenhang erneut: Schließen Kinder in Räumen, in denen die Magnetfeldstärke 0,2 Mikrottesla überstieg, war ihr Risiko, an Blutkrebs zu erkranken, gegenüber einer Kontrollgruppe etwa dreifach erhöht. "Wir sind überzeugt, dass diese Assoziation kein Zufall mehr ist", sagt Mitautor Joachim Schütz. Zwar will er statistische Fehler nicht ausschließen. Zeige sich aber, dass die Beziehung zwischen Feldern und Leukämie kausaler Natur sei, so Schütz, wäre der Grenzwert von 100 Mikrottesla nicht länger haltbar.

Deutlicher wird der Biophysiker Peter Neitzke vom Ecolog-Institut in Hannover. "Hunderte von Studien zeigen eine Krebs fördernde Wirkung schwacher Magnetfelder ab 0,2 Mikrottesla", erklärt er. "Daher müssen wir das Limit um den Faktor 1000 auf 0,1 Mikro-Tesla senken."

Weitere Informationen finden Sie auf der Internetseite:
http://www.elektrosmog.com/de/elektrosmog_gefahrenquellen_und_schutzmassnahmen/hochspannungsleitungen/

9. Espo-Abkommen

Die Planung der Trassenteile in den Niederlanden und Deutschland erfolgen aufgrund der unterschiedlichen nationalen Verfahren in zwei sich unterscheidenden Verfahren. Der Informationsfluss in den Niederlanden und Deutschland ist nicht einheitlich und entspricht aus unserer Sicht nicht den Anforderungen des ESPO-Abkommens, da z.B. die Planungsunterlagen nicht in beiden Landessprachen zur Verfügung standen und diese auch nicht in beiden Ländern öffentlich auslagen. Dies ist ein **klarer Verstoß gegen das ESPO-Abkommen**, der bei diesem grenzüberschreitenden Projekt nicht akzeptabel ist. Bei einem Projekt dieser Tragweite muss das ESPO Abkommen aus unserer Sicht unbedingt eingehalten werden.

10. Das „Inelfe“-Projekt

Als Referenzobjekt für eine transeuropäische Höchstspannungsverbindung führen wir hier das „Inelfe“- Projekt zwischen Frankreich und Spanien an. Zurzeit wird dort eine Gleichstromerdkabelung erstellt; Siemens errichtet hierfür die Konverterstationen. Zwischen beiden Projekten („Inelfe“ und „Wesel- Doetinchem“) bestehen sehr große Übereinstimmungen:

- beide Trassen sind knapp 60 km lang

- bei beiden Trassen werden die Stromnetze von zwei europäischen Ländern miteinander verbunden
- bei beiden Trassen soll eine Leistung von 1000 bis 2000 MW transportiert werden

Der größte Unterschied zwischen diesen beiden Projekten besteht darin, dass bei „Inelfe“ die Pyrenäen durchquert werden müssen! Damit ist diese Erdverkabelung ungleich schwieriger zu realisieren und auch deutlich teurer.

Die EU fördert dieses Projekt mit einem Betrag von 350 Mio. Euro!

Fazit:

Aus der Sicht der Stichting „Achterhoek voor 380 KV ondergronds“ und der Bürgerinitiative „Isselburg21“ ist eine Gleichstromerdverkabelung die einzig **sinnvolle Variante** für die Stromautobahn zwischen Wesel und Doetinchem.

Zusammengefasst ganz kurz die eindringlichsten Argumente dafür:

- Gesundheit
- kleinerer Eingriff in Natur und Kultur
- deutlich geringere Kosten (bei Gesamtbetrachtung **aller** Kosten)
- größere Akzeptanz in der Bevölkerung

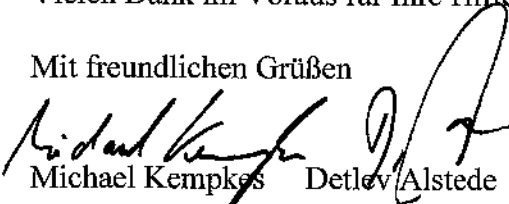
„Der Netzausbau in Deutschland verzögert sich“, diese Überschrift kann man regelmäßig der Presse entnehmen. Aber warum ist das so? Die Stromkonzerne suchen den kurzfristigen Profit und setzen deshalb veraltete Technik ein, anstatt in einen wirklich modernen Netzausbau zu investieren. Durch einen mutigen Schritt in die richtige Richtung könnte der Netzausbau deutlich beschleunigt werden – die Stromkonzerne und die Regierung haben es selbst in der Hand.

Tun Sie etwas dafür, dass die Energiewende endlich voran kommt!

Unterstützen Sie unsere Forderungen, damit wir **schnell** und **für alle verträglich** unsere „Strom-Autobahnen“ bekommen!

Vielen Dank im Voraus für Ihre Hilfe.

Mit freundlichen Grüßen


Michael Kempkes Detlev Alstede

Isselburg21

Am Mühlenberg 25
46419 Isselburg
Vorsitzender:
Michael Kempkes

Volksbank Bocholt eG
Konto-Nr. 617.055.300
Blz: 428.600.03

Übertragung elektrischer Energie: Technische Möglichkeiten und Risiken für Mensch und Umwelt

H.-Peter Neitzke und Hartmut Voigt

Ausbau der Stromnetze in Deutschland

Die Fernübertragung elektrischer Energie erfolgt bisher überwiegend über 380 kV- und 220 kV-Wechselspannungsfreileitungsstrassen. Dieses Höchstspannungsnetz (s. Abb. 1) hat eine Gesamtlänge von knapp 36.000 km. Bis zum Jahr 2015 sollen 400 km des bestehenden Höchstspannungsnetzes verstärkt und 850 km neu errichtet werden. Bis 2020 sehen die bisherigen Grobplanungen einen Zubau von mehreren Tausend Kilometern neuer Leitungen vor. Begründet wird dies mit der Ausweitung der Nutzung erneuerbarer Energien (s. Kasten 1). In der Tat macht die Errichtung neuer On- und insbesondere Offshore-Windparks neue leistungsfähige Stromleitungen notwendig, um die neuen Erzeugungszentren im Norden Deutschlands mit den Verbrauchszentren im Süden und Westen zu verbinden. Dass elektrische Energie künftig über weite Strecken transportiert werden muss, liegt aber nicht nur daran, dass im Norden mehr oder ein stärkerer Wind weht, sondern auch daran, dass im Süden zu lange auf Kernenergie gesetzt wurde, die Potenziale der erneuerbaren Energien hier bisher nicht hinreichend genutzt werden und zudem die Ausbauplanungen weit hinter dem Bedarf zurückbleiben. Die Ausweitung der Nutzung erneuerbarer Energien ist jedoch nicht der einzige Grund für die Verstärkung und Verdichtung des Höchstspannungsnetzes. Leitungen werden auch geplant, weil neue konventionelle Kraftwerke vor allem zur Verstromung von Kohle errichtet werden und Deutschland mit seiner zentralen Lage ein Transitland für Strom darstellt, der europaweit und, so einige Planungen, auch über die Grenzen des Kontinents hinweg gehandelt wird.

Der Betrieb der Stromnetze und ihr Ausbau liegen in Deutschland in den Händen privater Unternehmen, und zwar der vier Übertragungsnetzbetreiber 50Hertz, Amprion, TenneT und Transnet BW sowie der mehr als 870 Verteilnetzbetreiber. Die Übertragungsbetreiber müssen der Bundesnetzagentur im Sommer 2012 den Entwurf eines ersten gemeinsamen nationalen Netzentwicklungsplans vorlegen. Das bestehende

Inhalt

Übertragung elektrischer Energie, Technische Möglichkeiten und Risiken für Mensch und Umwelt	1
Forschungsspektrum	17
Index 2011	19
Impressum	20

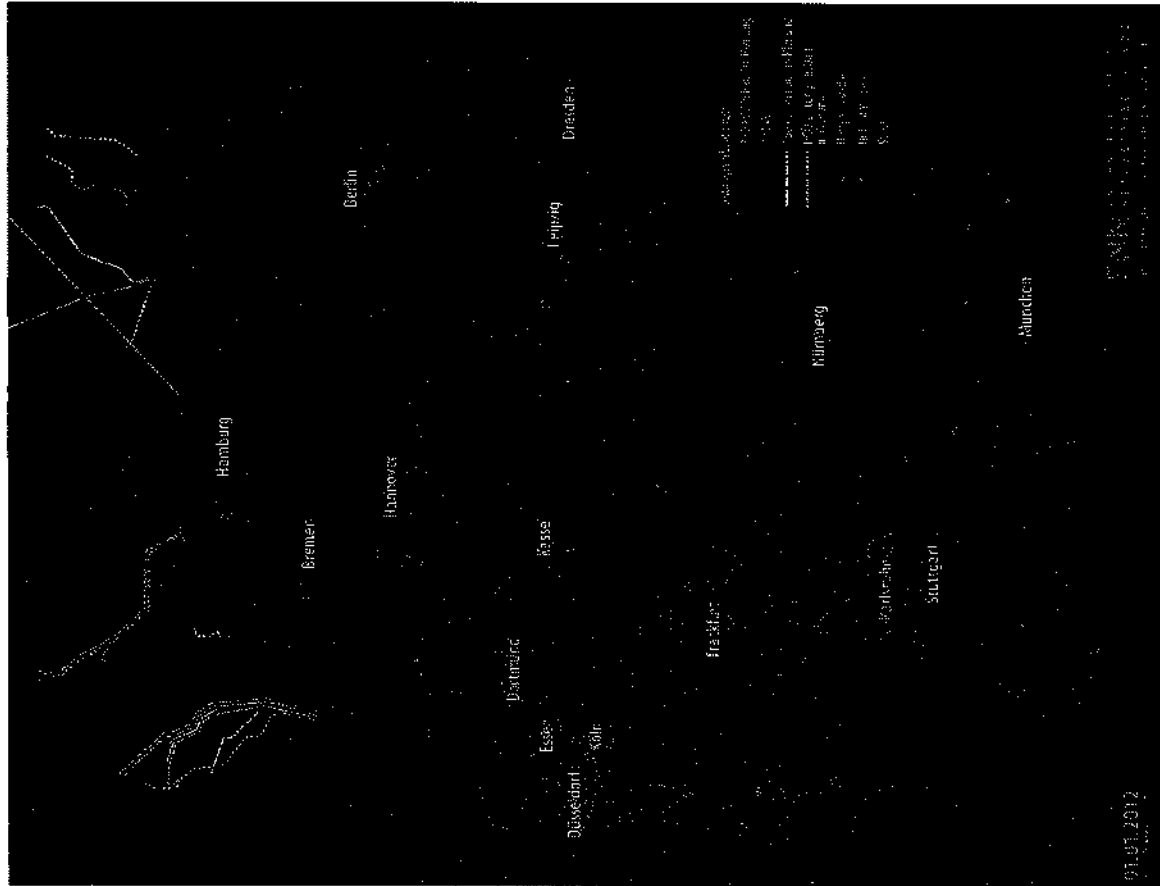


Abbildung 1
 Bestehende, im Bau befindliche und geplante Höchstspannungsstrassen in Deutschland

d.h. bei großem Abstand zwischen den Masten, 25 m und mehr betragen. In der aktuellen Norm DIN EN 50341-1 (DIN VDE 0210b) ist die explizite Abhängigkeit vom Durchhang nicht mehr enthalten. Es gilt jetzt unabhängig von der Länge der Spannfelder ein fester Zuschlag für die Windlast. Als Ergebnis müssen die verschiedenen Phasen am Mast einen Abstand von sechs bis sieben Meter haben, wie früher für große Spannfelder. Für kleine Spannfelder halte dieser Abstand deutlich geringer ausfallen können.

Hochspannungsleitungen wurden in Deutschland bisher, von wenigen Ausnahmen abgesehen, als Freileitungen auf Stahlgittermasten ausgeführt. Auf der 110 kV-Ebene gibt es dagegen einen dementsprechenden Anteil an Erdkabeln vor allem in Belastungsschwerpunkten, z.B. in Stadtgebieten mit enger Bebauung und hoher Lärmdichte. Die Gründe für den geringen Anteil an Erdkabeln liegen zum einen in den – zumindest auf der Höchstspannungsebene – deutlich höheren Kosten für Kabel im Vergleich zu denen für Freileitungen (s. Kasten 2). Zum anderen gibt es physikalische und betriebliche Gründe: Erdkabel haben eine viel größere Kapazität als Freileitungen.

Deshalb sind die Anforderungen an die Blindleistungskom-pensation (mit Anpassung der Impedanz) in reinen Kabelnetzen und gemischten Netzen höher als bei reinen Freileitungsnetzen. Große leistungsstarke Netze mit Kabeln sind u. U. alle 30 bis 40 km des Kabelsystems zu kompensieren. Auf der betrieblichen Seite steht der geringeren Empfindlichkeit von Erdkabeln gegenüber äußeren Einflüssen der im Vergleich mit Freileitungen höhere Aufwand bei der Reparatur im Falle einer Störung gegenüber.

Hochspannungsgleichstromtrassen

Eine Alternative zur Übertragung elektrischer Energie als Hochspannungsdrehstrom ist die Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ). Diese kann ebenfalls sowohl für Freileitungen als auch über Erdkabel erfolgen. Die Leitungen werden für die Übertragung hoher Leistungen (über 800 MW) bipolar mit zwei Leitern, für Hin- und Rückstrom, ausgeführt (Kramer 2000). Bei geringeren Übertragungsleistungen ist auch eine monopolare Ausführung mit einer Rückleitung durch die Erde möglich. Die Hochspannungsgleichstrom-Übertragung immer-

Kasten 2

Kosten von Hochspannungsstrassen

Um die Kosten für die Ausführung einer Hochspannungsstrasse als Freileitung oder Erdkabel betrachten zu können, müssen die folgenden Kostenarten berücksichtigt werden (Oswald 2005):

- Investitionskosten: Kosten für Planung, Beschaffung, Montage, Errichtung usw.
 - Betriebskosten: periodisch wiederkehrende Kosten für Wartung und Instandhaltung
 - Verlustkosten: periodisch wiederkehrende Kosten für spannungs- und stromabhängige Verluste
 - Rückbaukosten: Kosten für die Entfernung der Ratter und Leitungen sowie für Rückbau- und/oder andere Wiederherstellungsmaßnahmen entlang der Trasse
- Investitionskosten
- Für 3 000 MW Höchstspannungsfreileitungen betragen die Investitionskosten rund 0,8 Mio. €/km (Forum Netzeintegration 2012, Oswald 2005). Die Kosten für entsprechende kunststoffisolierte Erdkabeltrassen liegen bei etwa 3,2 Mio. €/km, sie können bei ungünstigen Bedingungen aber auch deutlich höher sein. Ein großer Unsicherheitsfaktor bei der Abschätzung der Kosten für Erdkabel sind die stark von der Beschaffenheit des Untergrunds abhängigen Kosten für die Erdarbeiten, die bei Vertiefungen in festem Untergrund wesentlich höher sind als bei Trassen, die durch lockere Böden führen.

Die Betriebskosten sind bei Erdkabeln mit rund 1000 €/km/Jahr deutlich günstiger als bei Freileitungen mit 4000 €/km/Jahr (Forum Netzeintegration 2012, Oswald 2005).

Kosten für Stromverluste

Auch bei den Kosten für Stromverluste schneiden Erdkabel besser ab. Sie betragen bis zu 68 000 €/km/Jahr bei Freileitungen, schlagen sie mit bis zu 153 000 €/km/Jahr zu Buche (Forum Netzeintegration 2012).

Rückbaukosten

Hierzu liegen keine vergleichbaren Erfahrungswerte vor. Bei einem Kostenvergleich müssen nicht nur die o.a. Kostenarten, sondern es muss auch das Zeitmoment berücksichtigt werden. Eine einschneidende von Oswald (2005) für die rund 60 km lange 380 kV-Trasse (1500 MW in der ersten Ausbaustufe) von Ganderkesee nach St. Hillde durchgeführte Kalkulation (Kapitalwertmethode) ergab für eine Nutzungsdauer von 40 Jahren, dass die Kabeltrasse um 2,15 mal so teuer ist wie die Freileitungsvariante. Das Kostenverhältnis würde sich zu Gunsten des Erdkabels verändern, wenn

- bei den Verlustkostenrechnungen nicht ein konstanter Kostenwert von 0,035 €/kWh (Oswald 2005) zu Grunde gelegt wird, sondern ein Wert, der in die (erwartbar) steigenden Energiekosten angefasst wird
- betriebs- und volkswirtschaftliche Risiken durch Unterbrechungen von Freileitungen als Folge von Extremwetterereignisse berücksichtigt würden, deren Eintrittswahrscheinlichkeit als Folge des Klimawandels steigen wird, und
- die Lebensdauer von Erdkabeln, die derzeit mangels Erfahrungswerten nur abgeschätzt werden kann, vergrößert wird.

Außerdem ist der Verlust an Einnahmen zu berücksichtigen, wenn 60 Gertrudeproteste und Klagen den Bau von Stromübertragungsnetzen verzögern, was bei neuen Freileitungstrassen wahrscheinlicher ist als bei Erdkabeltrassen. Aufgrund einer gesamtwirtschaftlichen Berechnung aller Kosten, in der auch die Kosten für Netzengpässe berücksichtigt werden, kommen Leppelt et al. (2011) zu dem Schluss, dass schon bei einer einjährigen Beschleunigung des Netzausbaus durch Teilvertiefungen die Kosten der sind. Dabei sind die durch den einjährigen Engpass zu erwartenden Mehrkosten einbezogen!

Auf der 110 kV-Ebene stellen Erdkabel schon heute in vielen Fällen die wirtschaftlichere Lösung dar.

Kasten 1

Energiewende in Deutschland

Um eine globale Temperaturerhöhung von nicht mehr als 2 °Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu vermeiden, werden vom Internationalen Panel on Climate Change (IPCC) in Industrieindikatoren zur Deutschnahd: Reduktionen der freibehaltigen (IEG) vertriegt gehalten (IPCC 2007). Da in einigen Bereichen, z.B. Landwirtschaft und Güterverkehr, THG-Emissionsreduktionen in diesem Umfang derzeit technisch nicht möglich scheitern oder mit vergleichsweise hohen Kosten verbunden waren, muss in anderen Bereichen, in denen technologische Alternativen bereits verfügbar sind 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 Stromerzeugung sind die Sachverständigenrat für Umweltfragen (deshalb: einen Schlüsselbereich der Energie- und Klimapolitik (SRU 2011: 37). Die notwendige Emissionsvermeidung im Stromsektor wird nur zu erreichen sein, wenn sowohl Anwendungen zur Erhöhung der Effizienz des Einsatzes elektrischer Energie, als auch beim Übergang zu einer Stromerzeugung unternehmern werden, bei der keine oder bezogen auf die Kilowattstunden elektrische Energie, sehr viel weniger Treibstoffe emittiert werden als beim Einsatz von Kohle.

Hochspannungsnetz und die bereits im Bau befindlichen oder geplanten neuen Trassen sind in Abbildung 1 dargestellt.

Die Umweltauswirkungen der Errichtung und des Betriebs von Hochspannungsleitungen werden von der Bundesnetzagentur im Rahmen der Planung in zwei Stufen analysiert (Bundesnetzagentur 2012): Zunächst wird untersucht, mit welchen Umweltfolgen genseitlich zu rechnen ist. Dabei wird auch die Frage der elektromagnetischen Felder betrachtet und es werden die umweltbezogenen Auswirkungen von Freileitungen im Vergleich mit Erdkabeln bewertet. Sobald feststeht, welche Trassen konkret benötigt werden, wird die Bundesnetzagentur in der zweiten Stufe der Umwertprüfungen die möglicherweise betroffenen Natur- und Siedlungsräume betreffen und die Raumempfindlichkeiten ermitteln. Die Umwelt- und Gesundheitsrisiken des Bundes und der Länder sowie die Umwelt- und Industrieverbände wurden von der Bundesnetzagentur aufgemerkt, sie bei der Festlegung des Verfahrens für die Umwertprüfungen zu beraten und aktiv zu unterstützen. Enge Kooperationen in künftigen Verfahren sind insbesondere mit den Landesbehörden vorgesehen.

In der Bevölkerung gibt es einen breiten Rückhalt für die Energiewende (s. BMU & UBA 2010: 43), aber auch vehementen Widerstand zukünftiger Anwohnergeplanter Trassen. Dieser entzündet sich vor allem an möglichen gesundheitlichen Risiken durch die von den Trassen ausgehenden Felder und den Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes. Der betroffenen Bevölkerung werden aus ihrer Sicht Erwartungen ihres Wohnumfelds zugenommen, ohne dass sie einen Nutzen davon hat (Die Welt 2012). Es gibt in den Bürgerinitiativen, die sich

entlang der geplanten Trassen gebildet haben, vereinzelt grundsätzliche Einwände gegen den Ausbau der Stromtrasse, u.a. weil entscheidende Anstrengungen zum Energiesparen vermieden werden oder weil die 'Energiewende' nur als vorgeschobenes Argument gesehen wird, das verschleiern soll, was die eigentliche Grund ist, nämlich 'Stromautobahnen' für den internationalen Stromhandel und die Anbindung klimaschädlicher (Braun-) Kohlekraftwerke zu schaffen. Die Mehrheit der Betroffenen stellt den Ausbau der Stromtrasse aber nicht grundsätzlich in Frage, sondern fordert 'nur', dass dieser grundsätzlich und umweltverträglich erfolgt. Lösungen werden zum einen darin gesehen, die elektrische Energie nicht über Freileitungen, sondern über Erdkabel zu führen. Zum anderen wird gefordert, die elektrische Energie nicht durch Wechselspannungen und -ströme, sondern durch Gleichspannungen und -ströme zu übertragen.

In diesem Beitrag sind Fakten und Bewertungen zusammengefasst.

- a) zu technischen und ökonomischen Machbarkeit der verschiedenen Optionen zur Realisierung von Trassen zur Übertragung hoher elektrischer Leistungen,
- b) zu den entlang solcher Trassen zu erwartenden elektrophysikalischen und magnetischen Einwirkungen,
- c) zu den von ihnen möglicherweise ausgehenden gesundheitlichen Risiken und
- d) zu künftigen Umweltauswirkungen.

Optionen für die Realisierung von Höchstspannungsstrassen

Hochspannungswechselstromtrassen

Hochspannungsleitungen zur Übertragung von Wechselstrom bestehen aus drei Leitungen (Phasen). Die Spannungen und Ströme auf diesen Leitungen sind im Idealfall jeweils um 120 Grad gegeneinander phasenverschoben. Wäre es möglich, die drei Phasenleitungen ohne Abstand in einer Leitung zusammenzufassen, und wären Ströme und Spannungen auf den Phasenleitungen exakt gleich groß (Phasenbalance, symmetrische Last), so würden sich die von den einzelnen Phasenleitungen ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder im Fall exakter Phasenverschiebungen um 120 Grad gegenseitig kompensieren. Unter realen Bedingungen ist dies allenfalls näherungsweise zu erreichen, da eine elektrische Isolation zwischen den Phasenleitern notwendig ist und diese gewisse Mindestabstände erfordert. Diese können im Falle von Erdkabeln mit geeigneten Isolationsmaterialien sehr gering gehalten werden. Im Falle elektrischer Freileitungen, wo Luft das isolierende Medium darstellt, sind dagegen relativ große Abstände erforderlich, die durch die Durchschlagfestigkeit der Luft bei den jeweiligen Spannungen vorgegeben sind. Bei einer 380 kV-Wechselspannungslinie ergäbe sich aus der Durchschlagfestigkeit der Luft für die Phase-Spannung ein Mindestabstand von 35 cm. Die tatsächlichen Abstände sind aber wesentlich größer, da das ungleichmäßige Ausschlagen der Phasenleitungen ebenso berücksichtigt werden muss wie die Verkleinerung des effektiven Abstands durch auf den Leitungen sitzende Vögel. Die Sicherheitsvorschriften aus der bis 2007 gültigen DIN VDE 0210 (DIN VDE 0210a) verlangen bei 380 kV-Leitungen einen Mindestabstand zwischen den spannungsführenden Seilen von 2,7 m, vergrößert um einen Betrag, der insbesondere vom maximal möglichen Durchhang der Leitenseile abhängt. Dieser kann für große Spannfelder,

Tabelle 1a

Maximalwerte der magnetischen Immissionen an bestehenden 380 kV-Wechselstromfleinleitungs- und Erdkabeltrassen, gemessene bzw. berechnete Werte für aktuelle bzw. maximale (symmetrische) Lastflüsse, in 1 m Höhe über dem Erdboden, für Erdkabeltrassen ist auch der Wert für 0,2 m Höhe im Trassenbereich angegeben (Neitzke et al. 2009)

Trassenart	E _{max} im Trassenbereich [µT]		B (Abstand r von der Trassenmitte) [µT]		Abstand bis zu dem B > 0,1 µT [m]	
	aktuell	maximal	aktuell	maximal	aktuell	maximal
Freileitung 380 kV	4,80	51,62	0,91	5,73	176	466
	r = 50 m					
Erdkabel 380 kV	3,52 / 6,22	85,8 / 167,8	0,19	1,37	34	74
	r = 20 m					

Tabelle 1b

Maximalwerte der elektrischen Immissionen an bestehenden 380 kV-Wechselstrom-Freileitungstrassen, gemessene bzw. berechnete Werte für aktuelle bzw. maximale Lastflüsse (Neitzke et al. 2009)

Trassenbezeichnung	E _{max} im Trassenbereich [kV/m]		E (r = 50 m) [kV/m]		Abstand bis zu dem E > 0,01 kV/m [m]	
	aktuell	maximal	aktuell	maximal	aktuell	maximal
FL 380 kV	5,92	8,81	0,59	0,63	356	405

reicht.

Für Wohnungen fernab von Hochspannungsversorgungsstrassen wurde ein Mittelwert der Wohnungsmittelwerte (Mindestabstand zu eingeschalteten Geräten mindestens 1,0 m) von 0,05 µT ermittelt. Der in diesen Wohnungen ermittelte maximale Einzelwert der magnetischen Flussdichte betrug 0,19 µT. In Wohnungen mit beschalteten 380 kV-Freileitungstrassen ergaben sich für die aktuelle Stromlast ein Mittelwert der Wohnungsmittelwerte von 0,81 µT und ein maximaler Einzelwert von 3,39 µT. Die Berechnungen für Maximallast ergaben einen mittleren Wohnungsmittelwert von 8,9 µT und Maximalwerte bis 16,3 µT. Der Einfluss von Erdkabeltrassen auf die Expositionen in Wohnungen lag innerhalb der Variationsbreite der Expositionen in Wohnungen fernab solcher Trassen.

Der große Einfluss der verschiedenen Bauformen von Hochspannungsmasten auf die Höhe der magnetischen Flussdichte im Umfeld der Trasse ist in Abbildung 2 anhand von einigen Querprofilen dargestellt. Die Berechnungen wurden für eine Höhe von 1,0 m über Grund jeweils am Ort des größten Durchgangs, meist etwa in der Mitte zwischen den Masten, durchgeführt. Bei diesen, wie bei allen folgenden Trassen wurde beispielhaft von einer maximalen Leistungsbetragung von zusammen 6,6 MW auf zwei Systemen ausgegangen. Von

halb eines Drehstromübertragungsnetzes erfordert an beiden Enden der Hochspannungsgleichstromübertragungsstrecke je eine Stromrichterstation, in der die Wechselspannung in Gleichspannung und diese am Ende der Gleichstromübertragungsstrecke wieder in Wechselspannung umgewandelt wird. Die Stromrichter können in beide Richtungen als Gleich- oder Wechselrichter arbeiten, daher ist der Aufbau der Gleichrichter- und der Wechselrichterstation identisch. Die Stromrichterstationen enthalten neben den eigentlichen Stromrichtern und den Steuerungseinheiten oft auch noch Stromrichtertransformatoren, Glättungsrossen und Oberschwingungsfilter. Mit den Transformatoren wird die elektrische Wechselspannung auf den erforderlichen Wert transformiert.

Bei der Übertragung elektrischer Energie über sehr große Entfernungen über Land (mehr als 500 km) oder unter Wasser (mehr als 30 km) hat die Hochspannungsgleichstromübertragung einige Vorteile gegenüber der Übertragung von Drehstrom:

- die bei der Wechselspannungsübertragung auftretenden kapazitiven Blindströme entfallen und damit die Notwendigkeit des Einbaus von Kompensationsanlagen;
- die Isolierung von Gleichstromkabeln ist weniger aufwändig als die von Drehstromkabeln, da im Gleichstromnetz der Spitzenwert der Spannung dem Effektivwert entspricht und zum anderen bei Gleichspannung in der Kabelführung keine dielektrischen Verluste auftreten;
- in Freileitungen sind die Verluste durch Koronaentladungen bei Gleichspannung wesentlich geringer als bei einer gleich hohen Wechselspannung;
- Leitungsquerschnitte können bei Gleichstromübertragung besser ausgenutzt werden als bei einer vergleichbaren Wechselstromübertragung, da bei Wechselstrom der Skin-Effekt zur Stromverdrängung an die Ränder des Leitungsquerschnitts führt, dieser Effekt tritt bei Gleichstrom nicht in Erscheinung;
- die bei Wechselstromübertragung erforderliche Synchronisierung der zu verbindenden Netze entfällt bei der Gleichstromübertragung.

Nachteile der Hochspannungsgleichstrom-Übertragung gegenüber der Drehstromübertragung sind:

- die im Vergleich mit Drehstromtransformatoren hohen Kosten und die geringen Überlaststoleranzen der erforderlichen Stromrichterstationen;
- die Probleme, die bei Freileitungen für Gleichspannungen von mehr als 500 kV aufgrund von Verschmutzungen und Feuchtigkeit auf den Isolatoren auftreten können. Zudem ist die Hochspannungsgleichstromübertragung vor allem für die Übertragung elektrischer Energie zwischen zwei Punkten geeignet. Der nachträgliche Einbau eines Abzweigs in eine bestehende Hochspannungsgleichstromübertragung ist sehr schwierig und aufwändig.

Elektrische und magnetische Felder an Hochspannungstrassen

Wechselspannungsstrassen

An Wechselspannungsstrassen können neben den elektrischen und magnetischen Feldern bei der Grundfrequenz 50 Hz auch Beiträge höherer Frequenzen auftreten. Es handelt sich um sogenannte Oberwellen, die durch nicht-lineare Elemente in den Netzen verursacht werden. Ihre Frequenzen sind ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz. Bei Hochspannungslei-

tungen sind ihre Beiträge in der Regel gering.

Messungen und Berechnungen der elektrischen und magnetischen Felder an Hochspannungsfreileitungstrassen sowie der magnetischen Felder an Erdkabeltrassen, die vom ECOLOG-Institut im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz durchgeführt wurden (Neitzke et al. 2009), erweisen die folgenden Ergebnisse, die weitgehend mit den Befunden aus früheren Untersuchungen übereinstimmen (s.a. Tab. 1):

- Die Höhe der von Freileitungen und Erdkabeln verursachten Immissionen hängt sehr stark von den konstruktiven und betrieblichen Parametern ab. Kritische Parameter sind:
 - die Stärke des übertragenen Stroms, die sich direkt auf die Stärke des Magnetfeldes auswirkt und bei Freileitungen zudem den Durchhang der Leiterspanne beeinflusst, was wiederum Folgen sowohl für das magnetische als auch für das elektrische Feld hat;
 - die Zahl der aufgelegten Systeme und deren Anordnung;
 - die Aufhängehöhe bzw. der Durchhang von Freileitungstrassen sowie die Verlegetiefe von Erdkabeln;
 - die relative Anordnung der Phasenleitungen der Systeme und deren Strombelegung;
 - der relative Abstand der Phasenleitungen zueinander.
- Die von Erdkabeln der gleichen Spannungsebene außerhalb des Trassenbereichs verursachten magnetischen Immissionen sind deutlich niedriger als die von Freileitungen verursachten (s.u.).
- Die Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern nehmen mit der Wohnungsdichte zu, sie sind in Mehrfamilienhäusern höher als in Einfamilienhäusern.
- Hochspannungsfreileitungen, können in beschalteten Wohnungen zu mittleren Expositionen führen, die deutlich über denen in Wohnungen fernab solcher Trassen liegen (s.u.). In der Nähe bauseitiger Stromversorgungsanlagen oder von in Betrieb befindlichen Elektrogeräten können die Felder deutlich höher sein als der allgemeine Haushaltsgrund. Sie können z.T. auch höher sein, als die Beiträge von beschalteten Hochspannungsfreileitungen.

Die auf maximale Anlagenauslastung extrapolierten Immissionen erreichen im Bereich von Freileitungstrassen fast 52 µT bzw. 9 kV/m (1,0 m Höhe). Im Trassenbereich von 380 kV-Freileitungen wurden in mehreren Fällen kleinräumige Überschreitungen des Grenzwerts der 26. BImSchV für das elektrische Feld von 5 kV/m festgestellt. Im Bereich des Normalverlaufes von Erdkabeltrassen (Verlegetiefe 1,5 m oder mehr) erreichte die auf maximale Anlagenauslastung extrapolierte magnetische Immission einen Wert von maximal 168 µT (0,2 m Höhe) bzw. 86 µT (1,0 m Höhe). Bei geringeren Verlegetiefen, wie sie bei einer untersuchten Erdkabeltrasse im Bereich einer Brücke gegeben war, sind natürlich höhere Immissionen möglich. Der für Erdkabel ermittelte Maximalwert war höher als die entsprechenden Werte von Freileitungstrassen, die Immissionen nehmen bei Erdkabeln jedoch, anders als bei der Freileitung, sehr schnell mit dem Abstand zur Trassenmitte ab. Der maximale Abstand, bis zu dem ein Wert von 0,1 µT überschritten wird, lag für 380 kV-Freileitungen bei 466 m. Bei Wert unterschreits ab einem Abstand von 74 m unterschritten In einem Tunnelabschnitt mit einer Verlegetiefe von mehr als 30 m wurde dieser Wert selbst direkt über der Trasse nicht er-

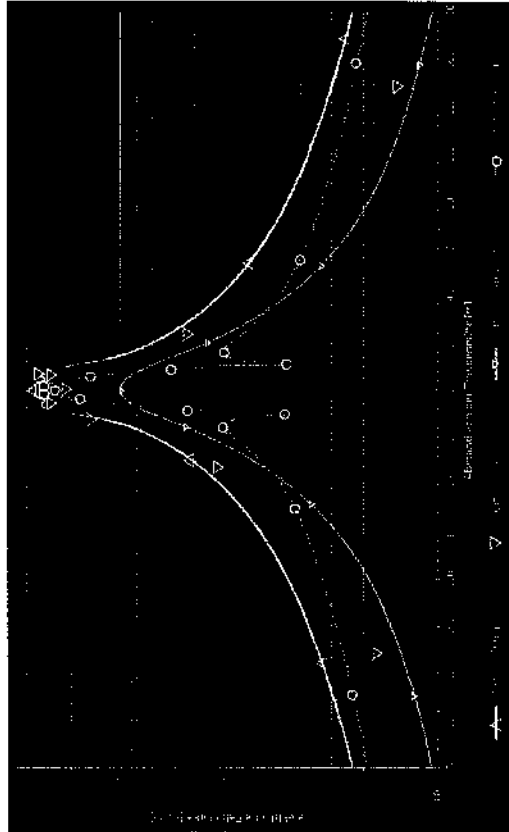


Abbildung 3

Querschnitte der elektrischen Feldstärke in 1 m Höhe über Grund für verschiedene Bauformen von 380 kV-Wechselstrom (50 Hz)-Freileitungstrassen.

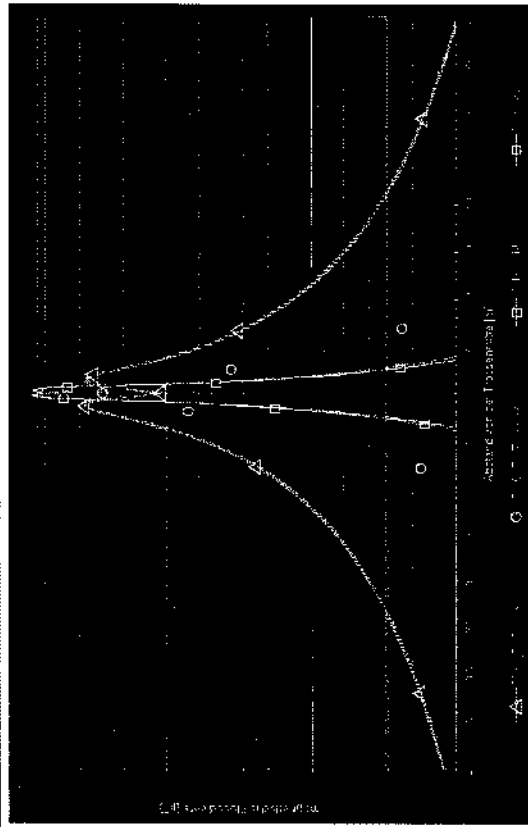


Abbildung 4

Querschnitte der magnetischen Flussdichte in 1 m Höhe über Grund für verschiedene 380 kV-Wechselstrom (50 Hz)-Trassen-Freileitung (FL) und -Erdkabel (Kb) für die gleiche übertragene Leistung von 6,6 MW pro Trasse. Die Bereiche, in denen die einzelnen Querschnitte der grauen Balken schneiden liefern eine Abschätzung für den Abstand, ab dem unter derzeitigen Normallastbedingungen 0,1 µT unterschritten werden.

ecksystem, nach der für Abstände (R) von der Mitte des Dreiecksystems, die groß sind gegenüber den relativen Abständen (d) zwischen den Phasen, die magnetische Flussdichte proportional zu den inneren Abständen ist: $B \sim d$, d. h. mit kleineren Abständen wird auch die Flussdichte kleiner.

$$B \approx (1/S) \cdot I \cdot d / R^2 \text{ mit } I: \text{ effektiver Strom einer Phase}$$

Der Einfluss der relativen Phasenlage ist eher gering. Außerdem kann sich hierbei die Wirkung bei zwei unabhängigen Übertragungssystemen ins Gegenteil verkehren, wenn sich zwischen den Strömen auf den beiden Systemen aufgrund unterschiedlicher Verbraucher eine größere Phasendifferenz einstellt, d. h. eine Phasenordnung, die ohne Phasendifferenz zwischen den Systemen zu der kleinsten magnetischen Flussdichte führt, kann bei angünstiger Phasendifferenz zwischen den Systemen die größte Flussdichte verursachen.

Bisher wurden bei Untersuchungen an Höchstspannungstrassen unter normalen Bedingungen meistens Flussdichten gemessen, die etwa einem Viertel bis einem Drittel der für maximale Stromlast berechneten entsprechen, manchmal sogar noch weniger. Ab dem Abstandsbereich, bei dem die Querschnitte der grauen Streifen in den Abbildungen 2, 4 und 6 schneiden, liegt unter normalen Bedingungen die magnetische Flussdichte unter 0,1 µT, z. B. für die Donau-max-Anordnung schon ab ca. 200 m und nicht erst ab ca. 400 m wie bei maximaler Auslastung. Es kann allerdings nicht davon ausgegangen werden, dass dies auch in Zukunft so bleibt. Denn durch steigende Vermaschung und bessere Steuerung des Höchstspannungs-

netzes kann die Versorgungssicherheit auch bei geringerer Leistungsrendanz auf derselben Trasse und damit bei höherer mittlerer Auslastung gewährleistet werden.

Die elektrischen Wechselfelder an diesen Trassen sind in Abbildung 3 dargestellt. Auch bei den elektrischen Feldern ist der Einfluss der relativen Abstände der Phasenleiter meist größer als der Einfluss der relativen Phasenlage.

Die Höhe der Felder im Trassenbereich, d. h. direkt unter bzw. in unmittelbarer Nähe zu den Leitungen, hängt anders als in größerem Abstand ganz entscheidend von der Höhe der Leitungen über dem Erdboden ab. Hier kann eine Feldminimierung sowohl für das elektrische Feld als auch für die magnetische Flussdichte erreicht werden durch Erhöhung der Masten und/oder die Verkleinerung der Mastabstände, wodurch sich der Durchhang verkleinert.

Um die gleiche Leistung wie auf einer Freileitung auf einer Kabeltrasse zu übertragen, müssen aus technischen Gründen beide Systeme gesplitert werden, d. h. es müssen dann 12 Kabel verlegt werden, aus Gründen der Zugänglichkeit für Reparaturen meist nebeneinander, wodurch die Trassenbreite mit ca. 20 m nicht deutlich kleiner ist als diejenige einer Freileitungstrasse mit Donaumasten von etwa 30 m aber etwas größer als diejenige einer Freileitungstrasse mit Masten in feiner Tonnenform oder mit WinTrack-Masten. Durch die deutlich geringeren Abstände der einzelnen Kabel zueinander fällt die magnetische Flussdichte außerhalb der Trasse sehr schnell ab.

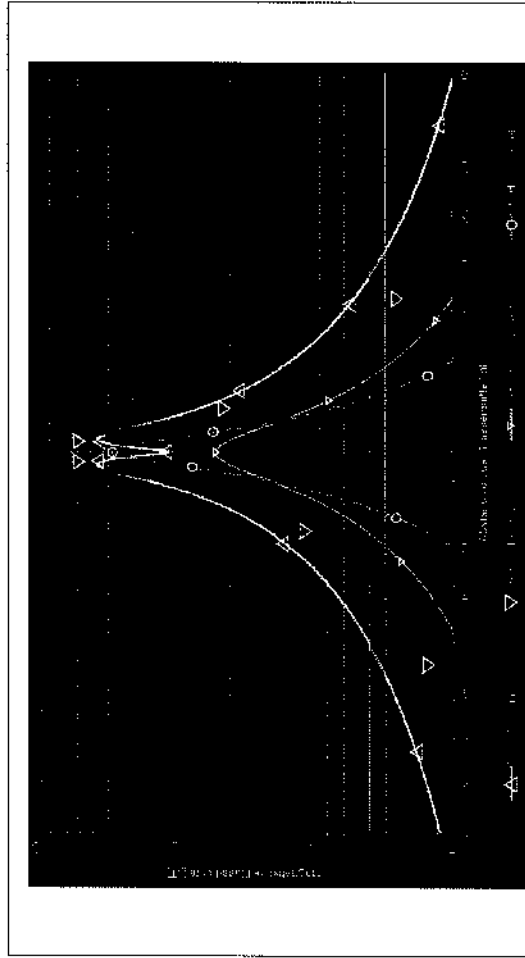


Abbildung 2

Querschnitte der magnetischen Flussdichte in 1 m Höhe über Grund für verschiedene Bauformen von 380 kV-Wechselstrom (50 Hz)-Freileitungstrassen bei einer maximalen Stromlast von 2760 A entsprechend einer Leistungsberragung von 3,3 MW pro System. Die Bereiche, in denen die einzelnen Querschnitte der grauen Balken schneiden liefern eine Abschätzung für den Abstand, ab dem unter derzeitigen Normallastbedingungen 0,1 µT unterschritten werden.

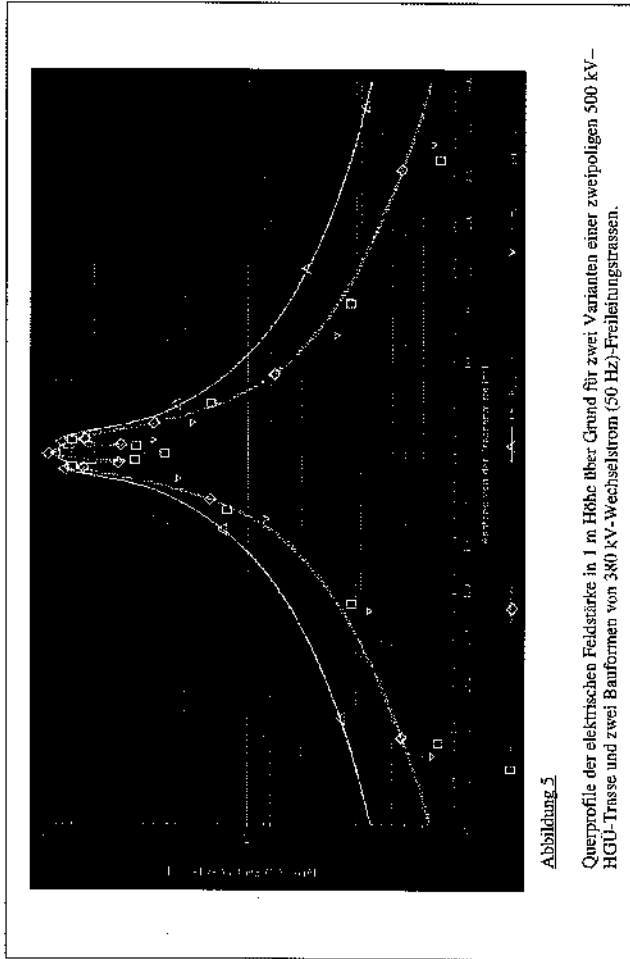


Abbildung 5

Quersprofile der elektrischen Feldstärke in 1 m Höhe über Grund für zwei Varianten einer zweipoligen 500 kV-HGU-Trasse und zwei Bauformen von 340 kV-Freileitungstrassen.

Kästen 2

Quellen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder

Elektrische Wechselfelder niedriger Frequenzen werden durch eine Vielzahl physikalischer Prozesse in der Atmosphäre und der Magnetosphäre erzeugt. Stärke und Frequenz dieser Felder hängen unter anderem von dem geographischen Ort, der Jahres- und Tageszeit sowie den Wetterbedingungen ab. Die Feldstärken sind jedoch immer sehr gering: Bei den durch Wetterphänomene, insbesondere Gewitter, verursachten Atmosphärischen Wechselfeldern im Bereich von 5 bis 1000 Hz liegen sie zwischen 10^4 und $0,5 \text{ V/m}$ und bet den quasi-sinusförmigen Wechselfeldern, deren Ursache unbekannt ist und die Frequenzen von etwa 8 und 26 Hz aufweisen, werden gerade einmal $0,15 \cdot 10^6$ bis $0,6 \cdot 10^6 \text{ V/m}$ erreicht. Die von klimatischen Quellen verursachten Expositionen liegen viele Größenordnungen darüber. Hauptverursacher von räumlich ausgedehnten niederfrequenten elektrischen Feldern sind das überirdische elektrische Versorgungsnetz und die Fahrdrähte von elektrischen Schienenfahrzeugen. Im Nahbereich elektrischer betriebener Geräte und Maschinen sind sehr starke,

jedoch in der Regel räumlich eng begrenzte, elektrische Felder möglich.

Natürliche niederfrequente Magnetfelder entstehen unter anderem durch Wechselwirkungen zwischen Erde und Sonne mit Frequenzen bis 100 Hz und Flussdichten mit Amplituden von $0,02 \text{ nT}$ bis $0,1 \text{ } \mu\text{T}$ und durch Gewitter (Atmosphärisches), wobei im Bereich der extrem niederfrequenten Felder magnetische Flussdichten bis $0,05 \text{ nT}$ erreicht werden. Die Stärken der natürlichen Felder sind sehr gering im Vergleich mit denen künstlich erzeugter Felder. Als Quellen räumlich ausgedehnter Felder sind neben den über- und den unterirdischen elektrischen Versorgungsleitungen, den großen Umspannlagern und den Transformatorstationen, vor allem elektrifizierte Bahnstrecken, in Deutschland mit einer Frequenz von 16,7 Hz, zu nennen. Letztere führen zu sehr weitreichenden Magnetfeldern, deren Stärke stark vom Betrieb auf der Strecke abhängt. Sehr hohe, allerdings räumlich enger begrenzte, Expositionen wurden an Industriearbeitsplätzen, z.B. bei der Elektrolavalisierung und bei der Aluminiumherstellung, ermittelt. Auch Haushaltsgeräte und kleine Maschinen können Quellen sehr starker Felder sein.

benutzt (BUWAL 2003, s. a. Röösli et al. 2003):

gesichert: Ein Effekt wird als gesichert erachtet, wenn er einer streng wissenschaftlichen Beweisführung standhält, d. h. wenn er mehrfach unabhängig repliziert worden ist, ein plausibles Wirkungsmodell besteht und er nicht im

Widerspruch zu anderen Forschungsergebnissen steht. **wahrscheinlich:** Ein Effekt wird als wahrscheinlich klassiert, wenn er mehrfach relativ konsistent und unabhängig festgestellt wurde. Die Qualität der Studien ist so weit überzeugend, dass andere Faktoren mit großer Sicherheit

Bei typischen Vertiefungen von ein bis zwei Metern sind die Einschlüchtern direkt über den Kabeln allerdings höher als direkt unter einer Freileitung. Dieser Unterschied ist deutlich in Abbildung 4 zu erkennen, in der die günstigste und die ungünstigste Freileitungsform mit zwei Kabelnordnungen verglichen werden. Auch hier zeigen die Schnittpunkte der Querprofile mit dem grauen Streifen den Abstandsbereich, ab dem bei den derzeitigen realen Betriebsbedingungen $0,1 \text{ } \mu\text{T}$ unterschritten werden.

Gleichspannungsstrassen

Da das gesamte Stromnetz auf Verbrauchersseite und die meisten Generatoren mit Gleichstromstrassen arbeiten, muss für die Übertragung über Gleichstromstrassen die Wechselspannung von HGU gleichgerichtet und hin- und wieder in Wechselspannung umgewandelt werden. In den aufwändigen Gleichrichter-Stationen wird, vereinfacht gesagt, jeweils von der Phase, die sich gerade im Bereich des positiven Maximums befindet, die Spannung abgegriffen und mit der positiven Seite des zweipoligen Gleichspannungssystems verbunden. Sobald die Spannung an dieser Phase soweit abfällt, dass die einer anderen Phase größer ist, wird auf letztere umgeschaltet usw.

Analog wird jeweils im Bereich des Minimums (des negativen Maximums) die Spannung von jeweils der Phase mit den negativsten Werten mit der negativen Seite des Gleichspannungssystems verbunden. Auf diese Weise wird auch ohne eine eigentliche Spannungs-Transformation eine Gleichspannung erzeugt, die, gegenüber Erde, kleiner als der Spitzenwert der Wechselspannung, aber größer als dessen Effektivwert ist und in etwa bei 500 kV liegt. Der Spannungsumterschied zwischen den beiden Polen ist bei der Gleichspannung doppelt so groß (etwa 1000 kV) und damit deutlich größer. Bei der Phase-Phase-Spannung bei der Wechselspannung. Natürlich wird mit diesem Verfahren keine wirklich konstante Spannung erzeugt. Es bleibt eine gewisse Restwelligkeit, deren Stärke und Frequenz von den Details der Gleichrichtung abhängen. Am Baltic Cable wurde bei 300 Hz eine magnetische Flussdichte von $2 \text{ } \mu\text{T}$ gemessen, verglichen mit einer Flussdichte von $117 \text{ } \mu\text{T}$ bei 0 Hz, also knapp 2 %. Damit liegt der Anteil der Restwelligkeit in etwa in dem Bereich, der bei 380 kV-Wechselstromstrassen als Oberwellenbeitrag gemessen wurde.

Es gibt bisher nur sehr wenige Gleichspannungsstrassen und kaum Informationen dazu, wie stark die elektrischen und magnetischen Felder in der Umgebung solcher Trassen in Abhängigkeit von der technischen Ausführung sind. Bei einer der wenigen durchgeführten Messungen wurde direkt unter einer 500 kV-Gleichspannungsfreileitung ein elektrisches Feld bis 20 kV/m festgestellt, im Abstand von 400 m waren es immer noch 2 kV/m und im Abstand von 800 m 1 kV/m (EC 1996). Die elektrischen Felder unter Gleichspannungsfreileitungen erreichen offensichtlich Stärken, die deutlich über denen natürlicher elektrostatistischer Felder und auch über denen von Wechselspannungsfreileitungen liegen (s. Kästen 3 und Abb. 5).

Die gemessene Feldstärke ist deutlich größer als der für diese HGU-Trasse berechnete Wert (11 kV/m , HTWK 2012). Der Unterschied wird mit der Konsistenz der Luftmoleküle erklärt. Im Unterschied zu Wechselspannungs-Freileitungen wird bei HGU-Leitungen die Polarität der Luftionisierung nicht in der

folgenden, Halbwelle der Spannung umgekehrt, sondern die Polarität der Ionisierung bleibt durchgängig erhalten. Es bilden sich um die HGU-Leitungen Raumladungswolken aus die Feldstärkewerte unter der Trasse erhöhen. Diese Raumladungswolken können außerdem vom Wind über größere Entfernungen verfrachtet werden und so auch weit ab von der HGU-Trasse zu deutlich erhöhten Werten der elektrischen Feldstärke führen.

Diese Raumladungseffekte sind in Abbildung 5 nicht berücksichtigt. Dort sind Querprofile der elektrischen Feldstärke für zwei Varianten einer angepassten HGU-Trasse, deren Parameter (übertragene Leistung, Masthöhe, minimaler Bodenabstand am Ort des größten Durchhangs, ...) hier so gewählt wurden, dass die den Parametern der Freileitungen entsprechen, deren Felder oben dargestellt wurden. Der Unterschied zwischen den beiden Varianten liegt in der relativen Anordnung der beiden Pole: (+I-II-I) bzw. (+I-I-I). In Abbildung 5 und in Abbildung 6, die das Querprofil der magnetischen Flussdichte zeigen, sind jeweils zum Vergleich die günstigste und die ungünstigste Variante der Wechselspannungsstrassen mit dargestellt.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen, dass die elektrischen und die magnetischen Felder an Hochspannungsgleichstromfreileitungen im Trassenbereich in Bezug auf ihre maximale Stärke in etwa denen an Hochspannungsfreileitungen entsprechen und dass die Feldverteilung auch im Außenbereich weniger von der Art des Übertragungssystems als von der Anordnung der Leitersseite abhängt.

Gesundheitliche Risiken durch elektrische und magnetische Felder

Niederfrequente Felder

Zu den Auswirkungen von Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen Feldern liegen bisher nur wenige Untersuchungen und nur zwei Reviews vor (Moulder & Foster 1999, Kheifets et al. 2016), die als Grundlage für eine Abschätzung möglicher Gesundheitsrisiken völlig unzureichend sind. Die Wahrscheinlichkeit hoher Dosisexpositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen Feldern ist allerdings sehr viel niedriger als die für hohe Dauerexpositionen gegenüber niederfrequenten magnetischen Feldern, denn die räumliche Verteilung niederfrequenter elektrischer Felder wird durch alle Materialien, die elektrisch leitfähig sind, stark beeinflusst. Diese Felder werden durch Hauswände, aber auch durch hohen Pflanzenbewuchs, völlig oder zumindest stark abgeschirmt. Eine Abschirmung niederfrequenter magnetischer Felder ist für große Volumina, wie Häuser und Wohnungen, dagegen kaum oder nur mit extrem hohem Aufwand möglich.

Die wissenschaftlichen Befunde zu den biologischen Wirkungen und möglichen Gesundheitsrisiken durch niederfrequente magnetische Felder wurden bereits an anderer Stelle dargestellt (s. z. B. Neitzke 2010). In Tabelle 2a und b wird eine knappe Übersicht zu den untersuchten Endpunkten, dem Typ der dabei angewandten Untersuchungsmethoden und der jeweiligen wissenschaftlichen Evidenz gegeben. Zur Klassifizierung der wissenschaftlichen Evidenz für Wirkungen niederfrequenter Felder wird das für das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft der Schweiz entwickelte Kategoriensystem

ausgeschlossen werden können. Ein plausibler Wirkungsmechanismus fehlt.
 möglich: Als möglich werden Effekte erwartet, die vor-
 einzeln in Studien beobachtet wurden. Die Ergebnisse sind
 insgesamt jedoch nicht konsistent und sind möglicherweise
 auf methodische Schwächen in den Studien zurückzuführen.
 Die wissenschaftlichen Hinweise werden durch
 Einzelfallberichte gestützt.
 unwahrscheinlich: Es gibt keine Hinweise für eine Asso-
 ziation, aber mehrfache Hinweise für deren Abwesenheit.
 Es bestehen keine theoretisch plausiblen Wirkungsmodelle.

nicht beurteilbar: Die Datenlage ist zu spärlich für eine
 Aussage. Es gibt zuweilen Einzelbefunde, häufig auch
 konvergente Resultate. Die Methodik der jeweiligen Studien
 wird als zu wenig genügend bewertet, um daraus
 Folgerungen abzuleiten.

Fazit: Gesundheitliche Risiken

Es gibt eine relativ starke wissenschaftliche Evidenz, dass
 Dauereexpositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern
 zu einem erhöhten Leukämierisiko bei Kindern führen. Das
 Risiko steigt ab etwa 0,2 µT mit der Höhe der Exposition. Es-

Tabelle 2a

Wissenschaftliche Evidenz für biologische Wirkungen und gesundheitliche Auswirkungen von niederfrequenten Magnetfeldern mit Stärken unterhalb des gesetzlichen Grenzwerts (100 µT). Die Art der Untersuchungsmethode ist jeweils in () angegeben.

Endpunkt (Methodentyp)	Wissenschaftliche Evidenz
<i>Ergebnisse von Untersuchungen am Menschen</i>	
Leukämie, Kinder (Epidemiologie)	wahrscheinlich
Gehirntumoren, Kinder (Epidemiologie)	möglich
Leukämie, Erwachsene (Epidemiologie)	möglich
Gehirntumoren, Erwachsene (Epidemiologie)	möglich
Brustkrebs, Erwachsene (Epidemiologie, Wohnung)	möglich
Brustkrebs, Erwachsene (Epidemiologie, Arbeitsplatz)	möglich
Herzkrankungen (Epidemiologie)	möglich
Alzheimer Krankheit (Epidemiologie)	möglich / wahrscheinlich
Amyotrophische Lateralsklerose (Epidemiologie)	möglich
Parkinson Krankheit (Epidemiologie)	nicht beurteilbar
Depressionen (Epidemiologie)	möglich
Selbstmord (Epidemiologie)	möglich
Reproduktion (Epidemiologie)	möglich
Elektrosensitivität (Epidemiologie)	möglich
Gehirnaktivität (Laborexperimente)	möglich
Kognitive Funktionen (Laborexperimente)	möglich
Hormonsystem, Melatonin (Klinische Studien, Laborexperimente)	möglich
Hormonsystem, andere Hormone (Laborexperimente)	nicht beurteilbar
<i>Ergebnisse von Tierexperimenten</i>	
Krebs	möglich
Reproduktion	möglich
Immunsystem	möglich
Hormonsystem, Melatonin	möglich
Genotoxische Effekte	wahrscheinlich
Zelluläre Funktionen	möglich / wahrscheinlich

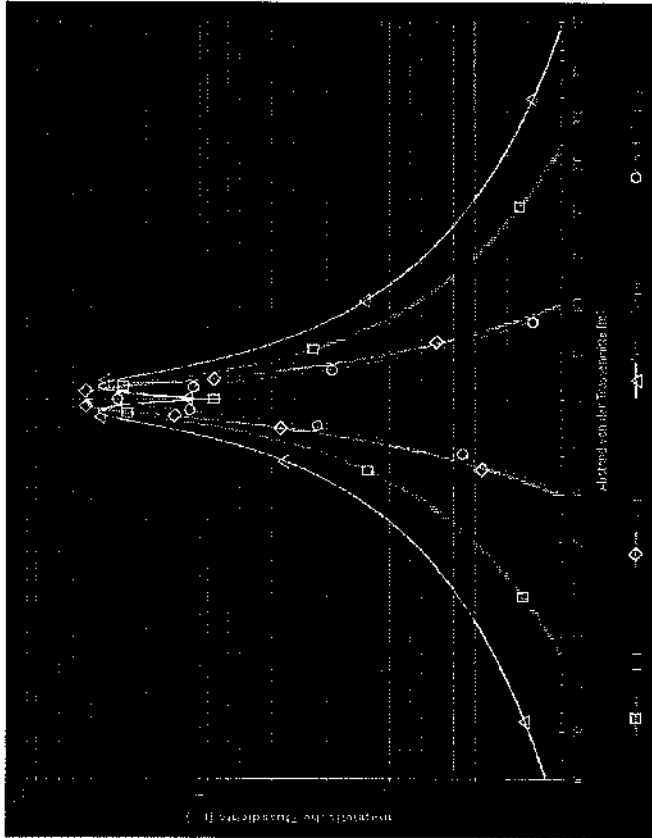


Abbildung 6

Querprofile der magnetischen Flussdichte in 1 m Höhe über Grund für zwei Varianten einer zwei-poligen 500 kV-HCÜ-Trasse und zwei Bauformen von 380 kV-Wechselstrom (50 Hz)-Freileitungstrassen, jeweils für die gleiche übertragene Leistung von 6,6 MW pro Trasse. Die Bereiche, in denen die einzelnen Querprofile den grauen Balken schneiden, liefern eine Abschätzung für den Abstand, ab dem unter derzeitigen Normallastbedingungen 0,1 µT unterschritten werden.

Kasten 3

Quellen statischer elektrischer und magnetischer Felder

In der Atmosphäre treten nennenswerte statische elektrische Felder auf: Die Feldstärke des sogenannten Schönbergerfeldes beträgt am Erdboden etwa 100 V/m, unter Gewitterwolken können die Stärken der elektrischen Felder 3 kV/m erreichen. Die Stärken künstlich erzeugter statischer Felder liegen zum Teil deutlich über denen der natürlichen Felder. Aufgrund der Trennung elektrischer Ladungen durch die Reibung beim Gehen auf einem nichtleitenden Teppich können elektrische Spannungen von mehreren Kilovolt und lokale Feldstärken von bis zu 500 kV/m entstehen. Oberleitungen von Straßen- und U-Bahnen, die mit Gleichstrom betrieben werden, erzeugen Felder von 600 V/m in 5 m Abstand von den Leitungen. Relativ starke elektrostatische Felder können auch an Röh-

renbildschirmgeräten und einigen im industriellen Bereich eingesetzten Maschinen auftreten, diese sind jedoch in der Regel räumlich eng begrenzt.

Das Erdmagnetfeld ist bis auf eine kleine zeitliche Variation aufgrund der Erdrotation weitgehend konstant und erreicht an magnetischen Äquator 35 µT und an den Polen 70 µT. Durch natürliche Prozesse in der Ionosphäre und der Magnetosphäre werden magnetische Felder mit Flussdichten von in der Regel weniger als 1 µT erzeugt. Als Quellen, die zu relativ großräumigen Expositionen führen können, kommen neben Gleichspannungstrassen vor allem mit Gleichstrom betriebene Verkehrssysteme in Frage. Hohe, aber räumlich begrenzte Expositionen können durch Magnetonanzgeräte, supraleitende Magnete in Forschung und Industrie sowie in anderen industriellen Anlagen, z.B. bei der Aluminiumelektrolyse und beim Elektroschweißen, verursacht werden.

Teilchen, je nachdem ob sie positiv oder negativ geladen sind, in Richtung oder gegen die Richtung des Feldes beschleunigt. In biologischem Gewebe ist die Dichte an Ladungsträgern, und damit die elektrische Leitfähigkeit, hoch. Das hat zur Folge, dass ein äußeres elektrisches Feld im Inneren eines menschlichen Körpers praktisch kompensiert wird, weil positive und negative Ladungen entlang des Feldes getrennt werden und zwischen ihnen ein inneres elektrisches Feld entsteht, das dem äußeren entgegen gerichtet ist. Die Ladungstrennung führt zu Oberflächenladungen. Diese können abfließen, wenn der Körper mit einem geerdeten Gegenstand in Kontakt kommt.

Magnetische Felder durchdringen biologisches Material dagegen nahezu ungehindert. Das heißt, dass das Feld im Inneren eines Körpers genauso stark ist wie außen. Magnetfelder üben zum einen (magnetomechanische) Kräfte auf Teilchen aus, die selbst magnetisch sind. Magnetische Makromoleküle und mikroskopische Magnetkristalle, die sowohl in menschlichem als auch in tierischem Gewebe nachgewiesen wurden, werden durch ein äußeres Magnetfeld ausgerichtet. Inhomogene Magnetfelder führen dazu, dass para- und ferromagnetische Moleküle entlang der Feldgradienten wandern. Zum anderen wirken magnetische, wie elektrische, Felder auf elektrische Ladungen, aber nur wenn sich diese bewegen: Die sogenannte Lorentzkraft führt dazu, dass sich geladene Teilchen, die sich z.B. mit dem Blutstrom bewegen, abgelenkt werden, wobei die Richtung der Ablenkung senkrecht sowohl zur ursprünglichen Bewegungsrichtung als auch zum Magnetfeld ist. Diese elektrodynamischen Kräfte führen zur Induktion elektrischer Spannungen und Ströme. In sehr starken Magnetfeldern (einige Tesla) können magnetohydrodynamische Kräfte den Blutfluss verzögern. Auf der atomaren und subatomaren Ebene biologischen Materials sind weitere Wechselwirkungen mit statischen Magnetfeldern möglich. So kann ein äußeres Magnetfeld z.B. die Wiedervereinigungsrate von Radikalen, das heißt der bei einer Molekülaufspaltung entstandenen (reaktiven) Bruchstücke eines Moleküls, verändern, weil sich, vermittelt durch das Magnetfeld, die quantenmechanischen Eigenschaften eines Bruchstücks ändern (Spin-Umkehr). Radikal-Paar-Reaktionen können durch Magnetfelder mit Flussdichten im μT -Bereich beeinflusst werden.

Ergebnisse von Untersuchungen an Menschen

Zu den Wirkungen realistischer statischer Felder auf den Menschen liegen bisher nur wenige epidemiologische Untersuchungen vor, die sich zudem alle auf Magnetfeld-Expositionen am Arbeitsplatz beziehen. Die Expositionen gegenüber statischen Magnetfeldern liegen bei den meisten der betroffenen Industriearbeitsplätze im Bereich einiger 10 mT. Untersuchungen Risiken für Krebserkrankungen, hämatologische Veränderungen, Fertilitäts- und Schwangerschaftsstörungen, Veränderungen des Muskel-Skelettsystems und Schäden am Erbgut.

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 2005). 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. 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.

Untersuchungen zu physiologischen Folgen der Exposition gegenüber statischen Feldern wurden am Menschen auch unter Laborbedingungen durchgeführt. Ein gut untersuchter Effekt elektrostatischer Felder ist die Wahrnehmung dieser Felder durch, 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 umgebungsbedingten, Faktoren ab.

An Probanden, die magnetostatischen Feldern ausgesetzt waren, wurden die folgenden Endpunkte untersucht: Funktionen des peripheren Nervensystems, Gehirnaktivität, kognitive Funktionen, Sinneswahrnehmung, Herzfunktionen, Blutdruck, Serotonin- und Hormonniveau, Körper- und Hauttemperatur. In einigen Studien wurden in sehr starken Feldern (1 T und mehr) Beeinflussungen des Nervensystems festgestellt (WHO 2006: 7). Kurzzeitige Expositionen gegenüber statischen 100 mT-Magnetfeldern führten zu Veränderungen des Blutdrucks und der Herzschlagrate (Himman 2002). Für eine Einschätzung der mit Expositionen gegenüber statischen elektrischen und magnetischen Feldern verbundenen gesundheitlichen Risiken sind auch 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 Endpunkte 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 starke Felder (WHO 2006: 103ff): Ihr Bewegungsverhalten deutet darauf hin, dass starke Felder (1 T und mehr) von Versuchstieren als unangenehm empfunden werden. Wenn größere Tiere in Feldern von 0,1 T und mehr genötigt 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 2006: 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 2006: 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 Magnet-

Tabelle 2b

Wissenschaftliche Evidenz für biologische Wirkungen und gesundheitliche Auswirkungen von niederfrequenten Magnetfeldern mit Stärken unterhalb des gesetzlichen Grenzwerts (100 μT). Die Art der Untersuchungsmethode ist jeweils in () angegeben.

Endpunkt (Methodentyp)	Wissenschaftliche Evidenz
Ergebnisse von <i>in vitro</i> -Untersuchungen	
Reproduktion	möglich
Immunsystem	möglich
Hormonsystem, Melatonin	möglich
Genotoxische Effekte (Laborexperimente: Gewebe, verschiedene Zelltypen)	wahrscheinlich
Zelluläre Funktionen (Laborexperimente: Gewebe, Immunzellen, Nervenzellen)	möglich / wahrscheinlich
Ergebnisse von Untersuchungen an Menschen	
Leukämie, Kinder (Epidemiologie)	wahrscheinlich
Gehirntumoren, Kinder (Epidemiologie)	möglich
Leukämie, Erwachsene (Epidemiologie)	möglich
Gehirntumoren, Erwachsene (Epidemiologie)	möglich
Brustkrebs, Erwachsene (Epidemiologie, Wohnung)	möglich
Brustkrebs, Erwachsene (Epidemiologie, Arbeitsplatz)	möglich
Herzkrankungen (Epidemiologie)	möglich
Alzheimer Krankheit (Epidemiologie)	möglich / wahrscheinlich
Amyotrophische Lateralsklerose (Epidemiologie)	möglich
Parkinson Krankheit (Epidemiologie)	nicht beurteilbar
Depressionen (Epidemiologie)	möglich
Selbstmord (Epidemiologie)	möglich
Reproduktion (Epidemiologie)	möglich
Elektrosensitivität (Epidemiologie)	möglich

was geringer ist die Evidenz für einen kausalen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber niederfrequenten magnetischen Feldern und der Alzheimer Krankheit. 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. Bei den experimentell untersuchten Endpunkten ist den vorliegenden Auswertungen zufolge die wissenschaftliche Evidenz am höchsten bei den Effekten, die auf zellulärer Ebene untersucht wurden, das heißt bei Veränderungen am Erbgut und bei Einflüssen auf zelluläre Funktionen, wie den Stofftransport und die Auslösung von Zellstressreaktionen.

Statische Felder

Während zu den Wirkungen niederfrequenter Felder, insbe-

sondere 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. Bevor auf die Befunde eingegangen wird, werden kurz bekannte Wechselwirkungen zwischen Magnetfeldern und biologischem Material vorgestellt.

Bekanntes Wechselwirkungsmechanismen

Viele biologische Prozesse können sowohl durch elektrische als auch durch magnetische Felder beeinflusst werden. Die Wechselwirkung der beiden Feldarten mit einem Körper aus lebendem Gewebe ist jedoch sehr unterschiedlich:

Auf mikroskopischer Ebene können das Elektronen oder Ionen sein. Das heißt elektrische Felder üben eine Kraft aus, die

Tabelle 3

Umwelteinwirkungen von Hochspannungs-Stromübertragungsstrassen
 ++ starke Wirkung
 + Wirkung
 0 keine oder sehr geringe Wirkung

Umwelteinwirkungen	Wechselstrom		Gleichstrom	
	Freileitung	Erdkabel	Freileitung	Erdkabel
Verfärbung des Bodens in der Bauphase	+	++	+	++
Eingriffe in die Natur bei Reparaturarbeiten	+	++	+	++
Beeinträchtigung des Landschaftsbildes	++	0	++	0
Zerschneidung natürlicher Lebensräume (Beseitigung hoher Vegetation im Trassenbereich)	++	+	++	+
Lokale Austrocknung des Bodens	0	+	0	+
Schadstoffeintrag in den Boden (im Normalbetrieb)	+	0	+	+
Ionisation der Luft	+	0	++	0
Gefährdung von Großvögeln durch Kollision mit Leitersäulen	++	0	++	0
Gefährdung von Vögeln durch Stromschlag	++	0	++	0
Beeinträchtigung der Orientierung von Zugvögeln (magnetischer Kompass)	?	0	++	0
Geräusche durch Entladungen (Vergrämung von Wild)	+	0	++	+

HTWK 2012: Statische Felder bei der Energieübertragung. Internet-Site der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (http://www.htwk-leipzig.de/ibf/bf/bf_gesamtwertungstabelle/energieuebertragung.htm; 30.03.2012)

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007: Mitigation, Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press

Xiefeis L., Renow D., Sias G. & Stansson J. 2010: Extremely low frequency electric fields and cancer: assessing the evidence. *Bioelectromagnetics* 31 (2): 89-101

Kammer K. 2008: Kohlenwasserstoffe: Vegetationsmethoden und ihre Auswirkungen auf magnetische und elektrische Felder im Meer. In: Börek T. & von Nordheim H. (Hrsg.): Technische Eingriffe in marine Lebensräume. Tagungsband. Bundesrat für Naturschutz, Söringen 29

Lepriani D., Rizuan M., Igel M. et al. 2011: Ausbau elektrischer Netze mit Klimatechnik unter besonderer Berücksichtigung der Einspeisung Erneuerbarer Energien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. IZES, Saarbrücken, 20.06.2011

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

Nietzke H.-P. 2010: Elektrische und magnetische Felder an Hochspannungsstrassen. Gesundheitsliche Risiken. *EMF-Monitor* 16 (3): 2-7

felder 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 Genotoxizität und zu Krebs in 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 alleine 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. zu den folgenden Endpunkten durchgeführt: Genotoxizität, Zellwachstum, Gen-Expression, Membranfunktionen, Enzymaktivität, Zellmetabolismus und Zellorientierung (WHO 2006: 58ff.). In allen Untersuchungen berechneten sich 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

Die oft zu hörende Behauptung, Expositionen gegenüber magnetischen Gleichfeldern, die schwächer sind, als das Erdmagnetfeld stellen 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.

Auswirkungen von Hochspannungsstrassen auf die natürliche Umwelt

Stromübertragungsstrassen haben nicht nur über die von ihnen erzeugten Felder Auswirkungen auf die Umwelt. In Tabelle 3 sind weitere Wirkungen zusammengestellt, die bei einer groben Einschätzung wie stark diese bei den vier Übertragungssystemen Wechselstromsystem als Freileitung oder kunststoffisoliertes Erdkabel bzw. Gleichstromsystem als Freileitung oder Erdkabel ausfallen.

Fazit

Durch die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien, aber auch weil die Energieverteilung nicht in allen Regionen Deutschlands konsequent umgesetzt wird, sind neue Stromübertragungsstrassen erforderlich. Es sprechen eine Reihe von Grün-

den dafür, diese als Erdkabeltrassen zu realisieren.

- Natur- und Landschaft werden weniger beeinträchtigt als durch Freileitungen;
- die Korridore erhöhter magnetischer Expositionen sind deutlich schmaler als bei Freileitungen;
- größer als für Freileitungen und dies ermöglicht eine züglichere Realisierung.

Die technischen Probleme bei einer Teil-Erdverkabelung sind lösbar. Die Investitionskosten sind für Erdkabel höher. Allerdings ist der Kostenunterschied nur bei Trassen, die über bzw. in felsigen Untergrund geführt werden, so groß, dass er nicht durch geringere Betriebskosten, Kostenvorteile durch eine schnellere Realisierung und geringere wirtschaftliche Risiken durch Leitungsumbrüchungen im Zusammenhang mit Extremwetterereignissen wegzugehen, wenn nicht vollständig kompensiert werden könnte.

Gewichtige Gründe, die in Planung befindlichen Trassen als HGU-Leitungen zu realisieren, gibt es nicht; Die Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft sind ähnlich wie bei Wechselstromtrassen; gleiches gilt für die Höhe der elektrischen und magnetischen Immissionen sowie die Breite der Korridore erhöhter Expositionen. Aus der Tatsache, dass es zu möglichen Gesundheitsrisiken durch Gleichfelder deutlich weniger Untersuchungen als zu solchen, die durch niederfrequente Wechselfelder entstehen, gibt und dass der Mensch permanent dem statischen Erdmagnetfeld ausgesetzt sind, kann nicht geschlossen werden, dass die technischen Gleichfelder, die zu dem eine gewisse Restwertigkeit aufweisen, 'unbedenklicher' sind.

Literatur

BMU & UBA (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit & Umweltbundesamt) 2010: Umweltberichtsseite in Deutschland 2010. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin/Deutscher Roblau

Bundesrat 2012: Bundesratstagung diskutiert über Umwelteinwirkungen beim Ausbau des Hochspannungsnetzes. Pressemitteilung, Bonn, 27. Februar 2012

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

DIN VDE 0210e: DIN VDE 0210 VDE 0210:085-12: Bau von Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen über 1 kV. Norm. zuteilgezeugen (Ekte der Übergangswirtschaft: 2007-1-041)

DIN VDE 0210b: DIN EN 50341-1 VDE 0210b-1:2010-04: Freileitungen über AC-45 kV. Teil 1: Allgemeine Anforderungen - Detaillierte Festlegungen

EC (European Commission) 1999: Non-ionizing radiation - Sources, exposure and health effects. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities

Feychik M. 2005: Health effects of static magnetic fields - a review of the epidemiological evidence. *Prog. Biophys. Molec. Biol.* 87 (2-3): 241-246 (<http://www.fornix-wetztinger.de/90/>; 28.03.2012)

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

cortex ein starker Anstieg der c-fos-Expression beobachtet. 24 Stunden nach der Piktotoxin/HF-Behandlung zeigte sich eine Steigerung der neuronalen Aktivierung in den meisten Gehirnregionen. Drei Tage nach der Piktotoxin/HF-Behandlung waren die Effekte der HF-Exposition im Neocortex und in den Hippocampus-Strukturen immer noch vorhanden, während in den Paleocortex-Strukturen eine signifikante Abnahme der Aktivität beobachtet wurde. Zudem nahm in dieser Zeit die jüngste Teil der Großhirnrinde und ist nur bei Säugtieren vorhanden. Der Paleocortex ist der urtümlichste Teil. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen es – so die Autorinnen und Autoren – notwendig erscheinen, dass die Effekte der Mobiltelefone bei Epileptikern größere Beachtung finden und sorgfältig untersucht werden. (OS)

Cabrado-Quintas M., Marinéz-Silva L., Cordero-Sánchez C., Alvarez-Figueroa M., Ariza-Peña F.J. & López-Morán E. 2011: A study of neurotoxic biomarkers, c-fos and GFAP after acute exposure to GSM-radiation at 900 MHz in the picrotoxin model of rat brain. *Neurotoxicology* 32 (4): 478-494

Hochfrequenzexposition, subjektive gesundheitliche Beschwerden und Tinnitus

In der Schweiz wurde eine Studie durchgeführt, in der es um die Auswirkungen der alltäglichen Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf das Auftreten von Tinnitus sowie auf unspezifische Symptome, wie Kopfschmerzen, Müdigkeit, Konzentrationsmangel ging. Beim Tinnitus handelt es sich um permanent oder vorübergehende Ohrgeräusche, z.B. Pfeifen oder Klingeln, die in einem oder beiden Ohren vorhanden sein können. 2008 wurden in Basel 1375 zufällig ausgewählte Bürgerinnen und Bürger im Alter zwischen 30 und 60 Jahren per Fragebogen nach subjektiven Symptomen, nach Kopfschmerzen und deren Ausmaß sowie nach einem Tinnitus gefragt. Außerdem wurde gefragt nach dem Vorhandensein von Mobilfunk-Basisstationen und/oder Radiosendern in der Wohnung, sowie von DECT-Telefonen und WLAN im Haushalt und das Ausmaß der Nutzung von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen in den vorangegangenen sechs Monaten. Zusätzlich wurden soziodemographische Daten (Alter, Geschlecht, sportliche Aktivität, berufliche Situation (Stress), BMI usw.) erhoben und es wurde gefragt, ob die Personen sich als elektrosensibel betrachten. Das Ausmaß der Exposition wurde mittels Berechnung und der Netzbetreiber-Daten abgeschätzt. Diese Befragung wurde ein Jahr später wiederholt und es haben 82 % der Erhebten geantwortet. Die Auswertung ergab unter Berücksichtigung der soziodemographischen Daten keinen Hinweis auf negative Auswirkungen der Exposition auf das gesundheitliche Befinden oder auf das Auftreten eines Tinnitus. Die Autorinnen und Autoren weisen jedoch darauf hin, dass diese Aussagen nur für die zur Zeit noch relativ geringe Belastung durch elektromagnetische Felder gilt und nicht übernehmbar werden darf in der Zukunft eventuell durch die weitere technische Entwicklung verursachten höheren Expositions-werte. (OS)

Frei P., Mohler E., Braun-Fahrländer C., Pöhlh J., Neubauer G. & Rösel M. (QUALIFLEX-Team) 2012: Cohort study on the effects of everyday life radio frequency electromagnetic field exposure on non-specific symptoms and tinnitus. *Environ. Int.* 38 (1): 29-36

erkrankten, untersucht wurde, geht eine brasilianische Forschungsgruppe in einer ökologischen Studie der Frage nach, ob es einen Einfluss der Hochfrequenzstrahlung auf die Mortalität infolge Krebsrisikofaktoren gibt. Hierin wurden die Todesfälle aufgrund von Leukämie, Lymphomen, Hirntumoren, Brustkrebs, malignen Melanomen sowie Nieren-, Eierstock-, Pankreas-, Blasen- und Prostatakrebs im Stadtgebiet von Belo Horizonte im Zeitraum von 1996 bis 2006 erfasst. Sie wurden auf der Basis von Abstandsmessungen zwischen der nächsten Mobilfunk-Basisstation und dem Wohngebiet sowie Abschätzungen mittels Messung und Berechnung in 10 Expositionsgruppen eingeteilt, die sich in Hunderterschritten auf Abstände von 0-100 m bis 6-1000 m zwischen der Wohnadresse und der Basisstation bezogen. Die mittlere elektrische Feldstärke betrug bei Messungen im Jahre 2008 7,32 V/m und reichte von 0,4 bis 12,4 V/m. Von den insgesamt 22.493 Krebs-Todesfällen erfüllten 17.191 Fälle die Kriterien der Studie. Die häufigsten Todesursachen waren Lungenkrebs (19,6 %), Magenkrebs (14,1 %), Prostatakrebs (14,1 %) und Brustkrebs (11,5 %). Im Abstand bis zu 100 m von der Basisstation traten 3.569 Todesfälle auf, das sind 49 % aller Fälle und die Sterberate betrug 43,4/10.000 Personen. Bei Personen die im Abstand von bis zu 500 m zu der nächsten Basisstation lebten, betrug die Sterberate 34,7/10.000 Personen. Diese Rate sank mit zunehmendem Abstand weiter ab. Die Autorinnen und Autoren ziehen aus ihren Ergebnissen den Schluss, dass es eine räumliche Beziehung zwischen dem Standort der Mobilfunk-Basisstationen und den Todesfällen aufgrund von Krebs gibt. Sie problematisieren die Schwäche der Studie, die im Studienzeitpunkt begründet ist, da in ökologischen Studien keine individuellen Faktoren, wie Rauchen, Ernährung, sonstige Erkrankungen usw., erhoben werden. (OS)

Dada A.C., Leao M.M.D., Tejo F.A.F. et al. 2011: Mortality by neoplasia and cellular telephone base stations in the Belo Horizonte municipality, Minas Gerais state, Brazil. *Soc. Total Environ.* 409 (19): 3649-3665

Der Einfluss von Hochfrequenz-Exposition auf die Gehirne von zu Anfällen neigenden Ratten

Einzelne Untersuchungen haben gezeigt, dass hochfrequente (HF) Strahlung bei Epileptikern die elektrophysiologische Aktivität des Gehirns verändern kann. Allerdings ist es schwierig, aus diesen Untersuchungen mit Epileptikern geschlossen zu werden, dass die Hochfrequenzstrahlung abzuleiten. Daher wurde in der vorliegenden Arbeit an einem Rattenmodell, bei dem durch Piktotoxin die Neigung zu Krämpfen erzeugt wurde, untersucht, wie GSM-Strahlung, deren Intensität der von Mobiltelefonen entspricht, das Gehirn der Tiere beeinflusst. Hierzu wurden 72 erwachsene Ratten in zwölf Gruppen eingeteilt. Die Tiere wurden mit bzw. ohne Verabreichung von Piktotoxin wie folgt behandelt: zwei Stunden Exposition bzw. Scheinexposition (900 MHz, GSM, geschätzter SAR-Wert 1,32-1,44 W/kg) und Untersuchung 90 Minuten, 24 Stunden oder drei Tage nach der Exposition. Ermittelt wurde, ob klinische Anzeichen für Anfälle oder Zuckungen vorhanden, und es wurde die Expression von c-fos und GFAP im Gehirngewebe ermittelt. C-fos ist ein Proto-Onkogen, das Protein reguliert die Expression vieler Gene, die das Zellwachstum beeinflussen. GFAP (Säures Glutathionprotein) kommt überwiegend in Astrozyten vor und spielt als Marker eine wesentliche Rolle in der Diagnostik von glialen Gehirntumoren, z.B. von Astrozytomen oder Glioblastomen. 90 Minuten nach der Piktotoxin/HF-Behandlung wurde im Neocortex und Paleocortex ein starker Anstieg der c-fos-Expression beobachtet. 24 Stunden nach der Piktotoxin/HF-Behandlung zeigte sich eine Steigerung der neuronalen Aktivierung in den meisten Gehirnregionen. Drei Tage nach der Piktotoxin/HF-Behandlung waren die Effekte der HF-Exposition im Neocortex und in den Hippocampus-Strukturen immer noch vorhanden, während in den Paleocortex-Strukturen eine signifikante Abnahme der Aktivität beobachtet wurde. Zudem nahm in dieser Zeit die jüngste Teil der Großhirnrinde und ist nur bei Säugtieren vorhanden. Der Paleocortex ist der urtümlichste Teil. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen es – so die Autorinnen und Autoren – notwendig erscheinen, dass die Effekte der Mobiltelefone bei Epileptikern größere Beachtung finden und sorgfältig untersucht werden. (OS)

Frei P., Mohler E., Braun-Fahrländer C., Pöhlh J., Neubauer G. & Rösel M. (QUALIFLEX-Team) 2012: Cohort study on the effects of everyday life radio frequency electromagnetic field exposure on non-specific symptoms and tinnitus. *Environ. Int.* 38 (1): 29-36

Forschungsspektrum

Frequenzbereiche. Die Einteilung sollte so erfolgen, dass die 50%-SAR-Volumenbereiche für die Mobiltelefone innerhalb einer Gruppe sehr ähnlich, aber möglichst unterschiedlich zu denjenigen aus anderen Gruppen waren. Es wurden dabei verschiedene Kombinationen der technischen und konstruktiven Merkmale für die Gruppeneinteilung untersucht. Es zeigt sich, dass bei keiner Kombination dieser Merkmale eine Gruppeneinteilung möglich war, bei der die 50%-SAR-Volumenbereiche zwischen den verschiedenen Gruppen wirklich unterschiedlich waren. Nur die 'Dicke' dieser Volumenbereiche war umgekehrt proportional zur Sendefrequenz: je höher die Sendefrequenz desto flacher war das 50%-SAR-Volumen, was die unterschiedliche Eindringtiefe der Felder bei verschiedenen Frequenzen widerspiegelt. Es konnte nicht wie gefordert, eine Gruppierung der verschiedenen Mobiltelefone vorgenommen werden, die die Expositionsbestimmung in epidemiologischen Studien aufgrund der Merkmale der benutzten Mobiltelefone verbessern würde. (HV)

Dejour I., Wiert J., Trak M., Waka K., Vranter N., Mann S., Schütz J. & Cordts E. 2011: Analysis of three-dimensional SAR distributions emitted by mobile phones in an epidemiological perspective. *Bioelectromagnetics* 32 (8): 634-643

Einfluss eines 1950 MHz-Feldes auf die Herden von Ratten

Ein japanisches Team ging der Frage nach, welchen Effekt eine Ganzkörperexposition bei 1950 MHz auf die Hoden von Ratten hat. Hierzu wurden fünf Wochen alte Ratten in drei Gruppen mit je 24 Tieren eingeteilt. Im Alter von fünf bis zehn Wochen findet die reproduktive Reifung der männlichen Tiere statt. Die Ratten wurden fünf Wochen lang jeweils fünf Stunden pro Tag, scheinexponiert (Gruppe 1) bzw. exponiert (Gruppe 2 und 3). Der durchschnittliche Ganzkörper SAR-Wert betrug bei Gruppe 2 0,98 W/kg und bei Gruppe 3 0,4 W/kg. Untersucht wurden das histologische Erscheinungsbild der Samenkanalchen, Abweichungen in der Beweglichkeit und Morphologie der Spermien, die Anzahl der Spermien in den Hoden und Nebenhoden sowie das Gewicht von Hoden, Nebenhoden, Samenblase und Prostata. Außerdem wurde das Körpergewicht der Tiere bestimmt. Beim Gewicht, so wohl der Reproduktionsorgane als auch des ganzen Körpers, gab es zwischen den Gruppen keine Unterschiede. Auch bei den untersuchten Endpunkten Mobilität und Morphologie wurden keine Unterschiede festgestellt. Eine Ausnahme bildet die Spermien-Anzahl in den Hoden der Tiere der Gruppe 3, die signifikant erhöht war. Trotz dieses Unterschiedes konnten die Autoren zu dem Schluss, dass in diesem Versuch eine testikuläre Toxizität der Befeldung nicht nachgewiesen wurde. (OS)

Imai N., Kawabe M., Hiraga T., Nijima T., Takahashi S. & Shirai T. 2011: Effects on rat testis of 1.95-GHz W-GDMA for IMT-2000 cellular phones. *Syst. Biol. Repr. Med.* 37 (4): 204-209

Mobilfunk-Basisstationen und Mortalität aufgrund von Krebs

Während in zahlreichen epidemiologischen Untersuchungen der Zusammenhang zwischen einer Hochfrequenz-Exposition durch Mobiltelefone und dem Risiko, an einem Hirntumor zu

Niederfrequente Felder

Einfluss niederfrequente Felder auf die Kalzium-Konzentration in Herzkammerzellen

Kalzium ist ein chemisches Element, das nicht nur für den Knochenaufbau wichtig ist. Es ist auch notwendig für die Funktion von Nerven, für die Bluterinnung und die Muskelkontraktion. Da das Herz ein Muskel ist, ist auch seine Funktion abhängig von der Konzentration an Kalzium-Ionen und es besteht die Möglichkeit, dass Veränderungen der intrazellulären Kalzium-Konzentration zu Störungen der Herzrhythmickeit führen. In der vorliegenden Studie wurde der Einfluss eines niederfrequenten Magnetfeldes auf die Kalzium-Konzentration in den Herzkammerzellen von Ratten untersucht. 45 männliche Ratten wurden in drei Gruppen aufgeteilt: Gruppe 1 diente als Kontrolle, Gruppe 2 wurde scheinexponiert und Gruppe 3 wurde zwei Wochen lang jeden Tag für drei Stunden einem netzrequenten (50/60 Hz) Magnetfeld mit der magnetischen Flussdichte von 0,25 mT ausgesetzt. Im Anschluss an die Exposition wurde das Herzgewebe untersucht. Die Struktur der Myofibrillen, das sind Organellen der gestreiften Muskelfasern, die sich zusammensetzen und widerstandsfähiger entspannen können, war in den drei Gruppen unverändert. Allerdings zeigten sich bei den exponierten Tieren im Vergleich zu den Kontrollen und den scheinexponierten Tieren im Bereich der Myofibrillen heterogene Anheftungen von Kalzium-Ionen. Das Forschungsteam verweist auf Studien in denen ebenfalls die Beeinflussung der Kalzium-Homöostase durch Magnetfelder nachgewiesen wurde, sowie auf Arbeiten, in denen ein Zusammenhang zwischen der Magnetfeld-Exposition und Störungen der Herzfunktion ermittelt wurde, und hebt hervor, dass die hier präsentierten Ergebnisse mit denen anderer Studiengruppen konsistent sind. (OS)

Seri C., Söker S., Deniz M. & Nergiz Y. 2011: Intracellular Ca²⁺ levels in ventricular cells exposed to extremely low frequency magnetic field. *Eur. J. Biophys. Biol. Med.* 30 (1): 14-20

Hochfrequente Felder

Hochfrequenzexposition des Kopfes durch Mobiltelefone

Ein internationales Forschungsteam hat die räumliche Verteilung der von 120 verschiedenen Mobiltelefonen verursachten SAR-Werte im Kopf gemessen. Dabei wurden Geräte für verschiedene Mobilfunksysteme untersucht: Personal Digital Cellular (PDC 800/1500), Code division multiple access One (CDMA One 800), Global System for Mobile Communications (GSM 900/1800) und Nordic Mobile Telephony (NMT 900). Es wurde für jedes Telefon bei verschiedenen Nutzungspositionen (rechtes Ohr – linkes Ohr, anliegend – geneigt) die Größe, Form und Lage (zum Ohr) des Volumenbereiches bestimmt, in dem die SAR-Werte größer als 50 % des jeweiligen Maximalwertes waren. Es wurde versucht, die verschiedenen Mobiltelefone in Gruppen einzuteilen, entsprechend der unterschiedlichen technischen und konstruktiven Merkmale wie: 'Barren-Handy' – Klapp-Handy, ins Gehäuse (und dabei: wo dort?) integrierte Antenne – außen liegende Antenne (fix oder ausziehbar), unterschiedliche Mobilfunksysteme, verschiedene

D: Informationszentrum gegen Mobilfunk (IZgMF) 1:1
 D: Informationszentrum Mobilfunk (IZMF) 1:1
 D: Strahlenschutzkommission (SSK) 3:1
 European Environment Agency (EEA) 5:1
 Europäische Kommission 3:1
 GSM Association 3:10
 Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) 1:1/3:1
 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) 3:11, 12/5:1
 International Oversight Committee (IOC) 3:10
 Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENHR) 5:1
 WHO 1:1/3:1, 10

Biologische Effekte

Pentilidylreproduktion 1:10/3:10/4:8/5:5
 Genexpression 1:9/3:1/6:1
 Genotoxizität 3:1, 11/4:1/5:7
 Herz-Kreislauf-System 6:1
 Immunsystem 3:10/5:7
 Lebensmittel-inhaltsstoffe 3:11, 12
 Nervensystem/Gehirn 1:9/2:7, 8/3:1/4:8/5:8/6:1, 8
 Stressreaktion 3:12/4:8
 Verhalten 2:7
 Zelluläre Prozesse 1:10

Elektrosensibilität

6:7

Epidemiologische Untersuchungen

s. *gesundheitliche Auswirkungen*
 s. *Expositionsquellen*

Experimentelle Untersuchungen

s. *biologische Effekte*
 s. *gesundheitliche Auswirkungen*

Expositionsbestimmung

Messergebnisse: 2:1/3:1/5:1

Expositionsquellen

Basissation 1:1/2:1/3:1/4:7/5:1/6:1
 Elektrizitätsversorgung 4:7
 Elektrogeräte 4:7
 Fernsehsender 1:1/3:1/4:7/6:1
 LTE 1:1/3:1/6:1
 Mobiltelefon 2:7/3:1/4:8/5:1, 5, 7
 Radiosender 3:1/6:1
 Schnurloses Telefon 6:1
 TETRA 4:7/6:1
 WLAN 6:1

Gesetze, Verordnungen, Gerichtsurteile

26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissions-
 schutzgesetzes (26. BImSchV) 3:1
 Energieleitungsausbaugesetz 1:9

Gesundheitliche Auswirkungen

Allgemein 1:1
 Gehirnmotor 1:11/4:7/5:1
 Krebs 1:1/3:1/5:7/6:1
 Leukämie 4:7
 Psychisches und physisches Wohlbefinden 3:1/5:1
 Schlaf 1:11

Grenzwerte, Vorschriften, Empfehlungen, Gütesiegel

Neue Techniken

DVB-T 1:1
 Energiegewinnung 1:7
 LTE 1:1

Risikowahrnehmung/-kommunikation

1:1/3:1

Vermeldung/Verminderung von Expositionen

3:1

Induktion einer adaptiven Antwort durch Hochfrequenz-Exposition

Wenn Zellen, die einer extrem niedrigen Dosis einer genotoxischen Noxe ausgesetzt waren, bei Verabreichung einer höheren Dosis der selben oder einer ähnlichen Noxe weniger empfindlich bezüglich der Induktion eines genetischen Schadens reagieren, spricht man von einer adaptiven Antwort. In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, welche Faktoren diese Anpassungsfähigkeit bei menschlichen Lymphozyten beeinflussen. Hierzu wurden die Lymphozyten von neun männlichen Spendern untersucht. Die Zellen wurden in der G₀, G₁ oder S-Phase des Zellzyklus zunächst für jeweils 20 Stunden einem elektromagnetischen Feld (900 MHz, 1,25 W/kg) als adaptive Dosis ausgesetzt (adaptive Behandlung), danach wurden sie mit 200 ng/ml Mitomycin C behandelt. G₁ ist die erste Phase im Zellzyklus nach der Teilung. G₀ ist eine in differenzierbaren Zellen vorkommende Ruhephase, die sich an G₁ anschließt, und in der S-Phase findet die Replikation der DNA statt. Mitomycin C wurde ursprünglich als Antibiotikum entwickelt. Es wirkt genotoxisch, indem es die Trennung der DNA-Stränge, z.B. bei der Replikation, verhindert. Als Maß für die Genotoxizität wurde die Häufigkeit von Mikronukleoli bestimmt. Die Basiskulturen der Zellen aller Spender (keine Differenzierung nach der Zyklusphase), die nur mit Mitomycin C behandelt wurden, zeigten im Vergleich zu unbehandelten Kontrollen eine statistisch signifikante Zunahme der Mikronukleoli. Die kombinierte Behandlung mit dem Hochfrequenz-Feld und Mitomycin C im Vergleich zu dem Mitomycin C behandelten Basiskulturen zu einer statistisch signifikanten Abnahme der Mikronukleoli. Die Hochfrequenz-Exposition alleine bewirkte, verglichen mit den Kontrollen oder den schenexponierten Zellen, bei den Zellen der G₀, G₁ oder S-Phase keinen Anstieg der Häufigkeit von Mikronukleoli, während die alleinige Mitomycin C-Behandlung in allen drei Phasen zu einer statistisch signifikanten Zunahme der Mikronukleoli führte. Die Kombination der Hochfrequenz-Exposition und der Mitomycin C-Behandlung ergab nur bei Zellen, die in der S-Phase dem hochfrequenten Feld ausgesetzt waren, eine signifikante Abnahme der Mikronukleoli-Zahl. Die Autovirnen und Autoren schließen daraus, dass einer der Faktoren, die die adaptive Reaktion beeinflussen, die Phase des Zellzyklus ist, in der die erste Exposition stattfindet (OS)

Shanbo A., Zeng O., Sun M., Roman S., Reddy S.B., Balasano M.A., Pribuda T.J., Vijayakami & Sun M.B. 2011. Induction of adaptive response in human blood lymphocytes exposed to 900 MHz radiofrequency fields: influence of cell cycle. *Int. J. Radiat. Biol.* 87 (9): 993-999

Mobiltelefon-Exposition und Kurzzeitgedächtnis bei Mäusen

Zur Untersuchung des Einflusses von Mobilfunk-Feldern auf das Kurzzeitgedächtnis von Mäusen wurden 24 Mäuse eingeteilt in: exponierte Tiere, schenexponierte Tiere und Kontrollgruppe. Der Versuchsablauf umfasste drei Tage: am ersten

Tag wurden die Tiere in die Versuchsvorrichtung gesetzt und bekamen pro Tier für fünf Minuten die Möglichkeit, die Testbox mit einem Grundriss von 40 cm x 40 cm zu untersuchen. Am zweiten Tag – dem Trainingstag – enthielt die Testbox zwei identische Plastikpyramiden, die sich in gegenüberliegenden Ecken jeweils 10 cm von der Wand entfernt befanden und die in die Mitte der Box gesetzten Mäuse konnten die beiden Objekte zehn Minuten lang untersuchen. Am dritten Tag – dem Testtag – wurden die Tiere zunächst mit dem selben Aufbau wie am Vortag konfrontiert, dann für zehn Minuten aus der Box genommen und in der zweiten Test-Phase in der Testbox mit einer Plastikpyramide und einem unbekanntem Testobjekt konfrontiert, das sich in Farbe, Form und Material von der Pyramide unterschied. Protokolliert wurde das Verhalten der Tiere per Video. Die Auswertung berücksichtigte die Berührung der Objekte und die Ausrichtung der Nase sowie die Zeit, die die Tiere mit der Untersuchung des bekannten und des unbekanntem Objekts verbrachten. Das Ergebnis wird dargestellt als Diskriminierungs-Index. Die Exposition fand mit einem 1800 MHz Mobiltelefon statt und die selben Mäuse wurden mit drei unterschiedlichen Expositionsprotokollen konfrontiert: Akute Exposition: Die Tiere wurden nur an den drei Versuchstagen und nur zu den Zeiten der Tests exponiert (d.h. Tag 1: fünf Minuten, Tag 2 zehn Minuten). Am dritten Tag wurden sie in der Pause zwischen den beiden Tests (Konsolidierungsphase) nicht der Strahlung ausgesetzt. Chronische Exposition 1: Die Tiere wurden zehn Tage nach dem vorangegangenen Test zur akuten Exposition 17 Tage lang täglich für 90 Minuten exponiert. In der Testphase wurden sie am dritten Tag in der Pause zwischen den beiden Tests nicht exponiert. Chronische Exposition 2: Die Exposition wurde wie bei Exposition 2 fortgesetzt, so dass die Tiere zu Beginn der Testphase insgesamt 31 Tage lang exponiert waren. Im Anschluss an diese 31 Tage fanden die Tests ohne weitere Exposition statt. Die schenexponierten Mäuse und die Kontrollen zeigten das erwartete Verhalten: Sie untersuchten bevorzugt das neue (unbekannte) Objekt. Die akute Exposition führte bei den exponierten Tieren im Vergleich zu den schenexponierten Mäusen und Kontrolltieren zu einem geringeren Diskriminierungs-Index. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant. Nach der chronischen Exposition konnte ein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Dieser Effekt war bei der chronischen Exposition 1 stärker ausgeprägt als bei der chronischen Exposition 2. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Beeinflussung des Kurzzeitgedächtnisses vor allem auf einer Wirkung der Befeldung auf Prozesse in der Konsolidierungsphase beruht. Das Forschungsteam hat die Vermutung, dass in diesen Versuchen das elektromagnetische Feld vor allem den Cortex entorhinalis und den Hippocampus beeinflusst, da diese Gehirnregionen an der Objekterkennung beteiligt sind. (OS)

Nizami M.P., Shambak A., Syjanopolou P. & Murgaitis L.H. 2011: Short-term memory in mice is affected by mobile phone radiation. *Pathophysiology* 18 (3): 193-199

Index EMF-Monitor 2011

A: Medizinische Universität Wien 5:1
 D: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) 3:1
 D: ECOLOG-Institut 3:1
 D: EMP-Institut 2:1

Index EMF-Monitor 2012

**Behörden, Gremien, Organisationen, Arbeitsgruppen
 s. auch Grenzwerte**

Bezug	Preis
Einwurf	12,00 €
Einzelabonnement für Privatpersonen (als 10 Exemplare)	55,00 €
Flügelabonnement für Institutionen	75,00 €
Sammelabonnement für Privatpersonen (als 10 Exemplare)	35,00 €
Sammelabonnement für Institutionen (als 10 Exemplare)	55,00 €

Alle Preise einschließlich MwSt. Der Versand in das europäische Ausland ist nicht bei der Preis ober 12,00 €

© 2012 ECOLOG-Institut alle Rechte vorbehalten

Aktuell Wirtschaft

Energiewende

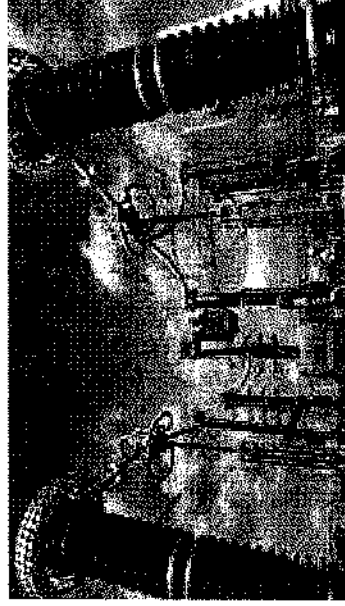
Ein Stromsprinter soll neue Netze überflüssig machen

23.04.2012 · Mit neuer Technik lässt sich auf bestehenden Trassen eine große Menge Strom transportieren. Der Netzbetreiber Amprion hat die Tests jetzt erfolgreich abgeschlossen.

VON ANDREAS MIJIM

Artikel

Eine neue Technik könnte den Ausbau des deutschen Höchstspannungsstromnetzes erheblich beschleunigen, den Netzausbau preiswerter machen und die Versorgungssicherheit erhöhen. Bestehende Masten und Leitungen würden so umgerüstet, dass über sie doppelt so viel Windstrom aus dem Norden ohne Verlust über Hunderte



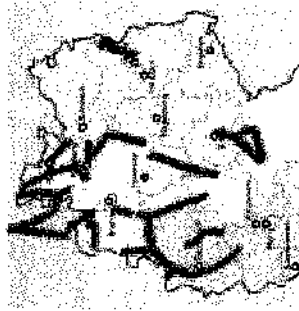
© SCHDEPAL, EDGAR

Geht es nach dem Netzbetreiber, soll das „Ultranet“

Kilometer nach Süden transportiert werden könnte. Positiver Nebeneffekt: Es müssten weniger neue Trassen gebaut werden als gedacht, Proteste gegen den Leitungsneubau könnten zumindest zum Teil verhindert werden.

in rund fünf Jahren Windstrom vom Nordrhein nach Baden-Württemberg transportieren

Strom bis zur Steckdose



Interaktive Karte: Strom bis zur Steckdose

Die komplette Stromtrassenkarte ist hier zu sehen. [Interaktive Karte](#)



Die Stromtrassenkarte zeigt einen Blick in die Stromwelt nicht nur in Deutschland, sondern auch in den angrenzenden Ländern. Die Karte ist interaktiv und zeigt die Stromtrassen in verschiedenen Farben. Die Karte ist interaktiv und zeigt die Stromtrassen in verschiedenen Farben. Die Karte ist interaktiv und zeigt die Stromtrassen in verschiedenen Farben.

© TEXT: SUSANNE KUSICKE, UMSETZUNG: BERND HELFERT

Interaktiv

Zweifel an der technischen Machbarkeit der Umrüstung hat der Netzbetreiber Amprion jetzt auf einer Versuchsanlage bei Datteln beseitigt. „Wir sind der Überzeugung, dass wir diesen Weg beschreiten sollten“, sagte Klaus Kleinekorte, der technische Geschäftsführer von Amprion der Frankfurter Allgemeinen Zeitung. Das Unternehmen hat das früher zu RWE gehörende Übertragungsstromnetz übernommen.

„Wir wollen das Ding 2019 am Laufen haben“

Kleinekorte hat auch schon einen Plan für die erste Leitung. Zusammen mit Transnet BW, der dem baden-württembergischen Stromkonzern ENBW gehörenden südwestdeutschen Netzgesellschaft, soll das „Ultranet“ gebaut werden und über 430 Kilometer Windstrom von Nordrhein nach Baden-Württemberg transportieren. Anders als das bisherige Übertragungsnetz wäre es eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung, eine Stromautobahn mit einer Auf- und einer Ausfahrt. Die Deutsche Bahn würde das wohl

Stromsprinter nennen. Amprion ist von dem Konzept so überzeugt, dass man Markenschutz für das „Ultranet“ beantragt hat.

Weitere Artikel

- Interaktive Karte: Strom bis zur Steckdose
- Offshore-Windanlagen: Wo die Riesenräder rosten
- Deutschland droht Ziele zu verpassen: Wirtschaftswachstum lässt Kohlendioxidemission wieder steigen
- Energiewirtschaft: Ohne Masterplan droht die Krise
- Klimaschutz: Der CO₂-Ausstoß wird billig

Ginge es nach den Dortmundern, wäre die Leitung in fünf Jahren fertig. „Wir wollen das Ding 2019 am Laufen haben, 2017 wäre uns noch lieber“, sagt Kleinekorte. Der Termin ist mit Bedacht gewählt: 2017 soll der Block 2 des bayerischen Atomkraftwerks Grundremmingen vom Netz gehen, 2019 der letzte Block des Kernkraftwerks Philippsburg in Baden-Württemberg. Mehr als 1300 Megawatt (MW) beträgt die Leistung des Reaktors in Grundremmingen, knapp 1500 MW die Leistung in Philippsburg. Werden die abgeschaltet, könnte das südwestdeutsche Stromnetz mit Windstrom aus dem neuen „Ultranet“ gespeist werden. Mit einer Kapazität von 2500 MW könnte die Leitung fast beide Reaktoren ersetzen.

Stückpreis 300 Millionen Euro

„Technisch würden wir das schaffen“, sagt Kleinekorte. Mit dem Lehrstuhl Hochspannungstechnik der Technischen Universität Dortmund habe man auf der 2,4 Kilometer langen Versuchsstrecke in Datteln nachgewiesen, dass Wechsel- und Gleichstrom auf einer Trasse transportiert werden könnten, ohne dass Blitzschlag, Magnetfelder oder Ionenwolken zu ungewollten und unbeherrschbaren elektrischen Flüssen führten. Allerdings muss der Strom von der 400-Kilovolt-Gleichstrom-

Autobahn auf die niedrigere Spannung des Verteilnetzes und auf Wechselstromspannung gewandelt werden. Dafür sind Hochspannungsgleichstromkonverter nötig. Siemens, ABB und Areva stellen solche Anlagen her. Sie kosten das Stück an die 300 Millionen Euro.

Doch im Ergebnis, sagt Amprion-Mann Kleinekorte, rechnet sich das Investment von rund einer Milliarde Euro für die neue Leitung auf den alten Gestängen. Denn gegenüber der herkömmlichen 380-Kilovolt-Drehstromleitung könne die neue HGÜ-Technik die für den Stromtransport nutzbare Kapazität mehr als verdoppeln. Die Übertragungsverluste seien minimal, und die Verluste bei der Umwandlung fielen kaum mehr ins Gewicht. Zudem könne Strom in beide Richtungen transportiert werden. Sollte der Süden einmal Sonnenstrom im Überfluss haben, könne dieser Richtung Norden abgeleitet werden. Mit neuen Masten auf der vorhandenen Trasse könne die Kapazität sogar noch weiter gesteigert werden.

Noch fehlen zwei Voraussetzungen

Darüber, wie viele der bisher geschätzten 4300 Kilometer zusätzlicher Hochspannungstrassen dann gar nicht mehr gebaut würden, will man bei Amprion nicht spekulieren. Auf jeden Fall sei es weniger als bei einem Ausbau in klassischer Drehstromtechnik. Der Amprion-Geschäftsführer weiß aber auch, dass er in seinem aus historischen Gründen eng vermaschten westdeutschen Versorgungsgebiet die Umrüstung seiner Leitungen einfacher haben wird als seine Konkurrenten, etwa in den neuen Ländern.

Noch fehlen zwei Voraussetzung dafür, dass das „Ultranet“ ein Erfolg wird. Ein ausreichend zuverlässiges Windstromangebot im Norden und Genehmigungen der Behörden. Mit dem nun von Schleswig-Holstein nach jahrelangen Verzögerungen erlaubten Lückenschluss der „Windsammelschiene“, die Mecklenburg-Vorpommern und damit die On- und Offshore-Windparks im Nordosten mit Hamburg verbindet, ist

ein wichtiger Schritt getan. Die nächsten sind der Anschluss der Offshore-Parks in der Nordsee.

Es bleiben dann noch die notwendigen Genehmigungen der Behörden. Gerade erstellen Netzbetreiber und Netzentur den bundesweiten Netzentwicklungsplan, der Grundlage für den Ausbau des Höchstspannungsnetzes in den kommenden Jahren sein soll. Die Landesregierungen in Stuttgart und Düsseldorf haben schon Unterstützung angekündigt. Das „Ultranet“ sei „ein überaus wichtiger Schritt in Richtung der Stromversorgungsinfrastruktur und damit auch der im Netzbereich unverzichtbaren Innovationen“.

Quelle: F.A.Z.

Hier können Sie die Rechte an diesem Artikel erwerben