

FORSCHUNG

H.-Peter Neitzke, Hartmut Voigt

ELEKTRISCHE UND MAGNETISCHE FELDER AN HOCHSPANNUNGSTRASSEN



Derzeit werden in Deutschland neue Höchstspannungsleitungen gebaut, u.a. um die geplanten großen Windenergiesandorte in den nördlichen Bundesländern und in den küstennahen Meeresgebieten sowie neue große Kohlekraftwerke mit den Verbrauchszentren zu verbinden. Durch den Neubau von Hochspannungstrassen ist die seit den späten 1990er Jahren weitgehend ruhende öffentliche Diskussion über die gesundheitlichen Auswirkungen von Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern wieder aufgeflammt. Auch ohne die neuen Hochspannungstrassen ist das elektrische Versorgungsnetz der Hauptverursacher großflächiger niederfrequenter elektrischer und magnetischer Immissionen. Der Frequenzbereich reicht von 50 Hz, der Grundfrequenz des Netzes, bis in den Kilohertzbereich mit den Frequenzen der Oberwellen, die Vielfache der Grundfrequenz sind und durch Schaltvorgänge und nichtlineare Prozesse in den Transformatoren und bei den Verbrauchern erzeugt werden.

In diesem Bericht werden Erkenntnisse zu den Expositionen, mit denen in der Umgebung von Höchst- und Hochspannungstrassen zu rechnen ist, dargestellt. Er basiert auf den Ergebnissen eines Forschungsvorhabens, das vom ECOLOG-Institut im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz durchgeführt wurde (Neitzke et al. 2009).

Realisierung von Höchst- und Hochspannungstrassen durch Freileitungen und Erdkabel

Für den Transport der elektrischen Energie zwischen den Kraftwerksstandorten und den Bedarfsschwerpunkten sind elektrische Leitungen zur Übertragung hoher Leistungen notwendig. Die Hauptstränge des elektrischen Versorgungsnetzes zwischen großen Kraftwerken und den Regionen mit einem hohen Bedarf an elektrischer Energie werden in Deutschland überwiegend von Höchstspannungsleitungen der 380 kV-Ebene gebildet. Die relativ wenigen 220 kV-Leitungen werden nach und nach durch 380 kV-Leitungen ersetzt. Das Höchstspannungsnetz in Deutschland hat eine Gesamtlänge von rund 36.000 km (vdn 2007). Die Zusammenschaltung der Übertragungsleitungen zu einem Verbundsystem dient dem Ausgleich von Angebot und Nachfrage und ist Voraussetzung für eine gesicherte Versorgung mit elektrischer Energie auch im Falle erhöhten regionalen Bedarfs oder von Störungen an Kraftwerken oder Übertragungsleitungen.

Mittlere Kraftwerke werden über 110 kV-Hochspannungsleitungen (Betriebsspannung 96 bis 123 kV) an das Verbundnetz angeschlossen, seltener durch 60 kV-Leitungen. Leitungen dieser Spannungsebene dienen auf der Verbrauchsseite außerdem

dem Anschluss von großen Ortschaften und Industriebetrieben. In Deutschland waren im Jahr 2007 rund 75.200 km Hochspannungsleitungen installiert (vdn 2007).

Elektrische Energie wird nicht nur in Deutschland überwiegend als Drehstrom übertragen. Die Leitungen der öffentlichen Stromversorgung bestehen deshalb auf den Höchst- und Hochspannungsebenen in der Regel aus drei Leitern bzw. Phasen. Diese werden auf der Höchstspannungsebene, von wenigen vergleichsweise kurzen Erdkabelabschnitten abgesehen, als Freileitungen über Stahlgittermasten geführt. Auf der 110 kV-Ebene gibt es dagegen einen nennenswerten Anteil an Erdkabeln, vor allem in Belastungsschwerpunkten, z.B. Stadtgebieten mit enger Bebauung und hoher Lastdichte.

Die Gründe für den geringen Anteil von Erdkabeln an den Übertragungstrassen liegen zum einen in den – zumindest auf der 380 kV-Ebene – deutlich höheren Kosten für Kabel im Vergleich zu denen für Freileitungen. Zum anderen gibt es physikalische und betriebliche Gründe. Erdkabel haben eine viel größere Kapazität als Freileitungen. Deshalb sind die Anforderungen an die Blindleistungskompensation (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 Reparaturen im Falle von Störungen gegenüber.

Elektrische und magnetische Immissionen entlang von Hochspannungstrassen

Elektrische Übertragungsleitungen sind Ursache sowohl elektrischer als auch magnetischer Felder. Erstere sind auf die anliegenden elektrischen Spannungen, letztere auf die durch die Leitungen fließenden Ströme zurückzuführen. Die an den drei Leitungen von Drehstromübertragungssystemen anliegenden Spannungen und die übertragenen Ströme sind im Idealfall jeweils um 120 Grad gegeneinander phasenverschoben. Wäre es möglich, die drei Phasen ohne Abstand in einem Leiter zusammenzufassen, und wären Ströme und Spannungen auf den drei 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 ge-

halten werden. Im Falle elektrischer Freileitungen, bei denen die Luft das isolierende Medium darstellt, sind dagegen große Abstände erforderlich, die durch die Durchschlagsfestigkeit der Luft bei den jeweiligen Spannungen vorgegeben sind. An Erdkabeltrassen sorgen die Isolation und der Erdboden dafür, dass die elektrischen Felder vollständig abgeschirmt werden.



Im Rahmen des bereits genannten Projekts wurden die elektrischen und magnetischen Immissionen in der Umgebung von Freileitungen unterschiedlicher Bauweise und von Erdkabeln für die Stromversorgung bestimmt. An den Trassen wurden die bei der jeweiligen aktuellen Last tatsächlich auftretenden Felder vermessen. Die Messungen erfolgten jeweils in 1,0 m Höhe über dem Erdboden. An Erdkabeltrassen wurde zusätzlich, entsprechend den Vorgaben des Länderausschusses Immissionsschutz, das Maximum der magnetischen Flussdichte in 0,2 m Höhe bestimmt.

Da der Betriebszustand der höchstmöglichen Anlagenauslastung praktisch nie auftritt, wurden die in diesem Fall maximal möglichen Immissionen durch Berechnungen ermittelt. Die für die Berechnungen erforderlichen technischen Angaben und die Betriebsdaten für die aktuelle Last und die maximal mögliche Last wurden von den Anlagenbetreibern zur Verfügung gestellt. Vergleiche der für die aktuelle Last gemessenen Werte mit den rechnerisch ermittelten Werten ergaben im Rahmen der Messgenauigkeit und der Genauigkeit der zur Verfügung stehenden technischen Daten sehr gute Übereinstimmungen.

In den Tabellen 1 und 2 sind die Ergebnisse der Messungen und der Berechnungen zusammengestellt. Den Tabellen können die bei den aktuellen Lastflüssen gemessenen und die für maximale

Trassenart Freileitung	E_{\max} (Trasse) [kV/m]		E (50m) [kV/m]		R_k (0,01 kV/m) [m]	
	aktuell	maximal	aktuell	maximal	aktuell	maximal
	380 kV	5,92	8,81	0,59	0,63	356
220 kV	2,84	3,67	0,14	0,12	121	133
110 kV	1,59	2,19	0,05	0,05	116	115

Tabelle 1:
Maximalwerte der elektrischen Immissionen an 380 kV-, 220 kV- und 110 V-Freileitungstrassen (in 1 m Höhe über dem Erdboden)

Trassenart Freileitung	B_{\max} (Trasse) [μ T]		B (50m) [μ T]		R_k (0,1 μ T) [m]	
	aktuell	maximal	aktuell	maximal	aktuell	maximal
380 kV	4,80	51,62	0,91	5,73	176	466
220 kV	2,60	24,91	0,12	0,92	50	132
110 kV	4,11	15,76	0,20	0,58	54	132

Trassenart Erdkabel	1 m		0,2 m		B (20m) [μ T]			
	1 m	0,2 m	1 m	0,2 m				
380 kV	3,52	6,22	85,8	167,8	0,19	1,37	34	74
220 kV	0,05	0,06	0,36	0,39	0,03	0,17	0	29
110 kV	0,69	1,88	4,61	9,92	0,04	0,06	6	15

Tabelle 2:
Maximalwerte der magnetischen Immissionen an Freileitungs- und Erdkabeltrassen der Spannungsebenen 380 kV, 220 kV und 110 kV (in 1 m Höhe über dem Erdboden, für Erdkabeltrassen ist im Trassenbereich zusätzlich der Wert für 0,2 m Höhe angegeben)

Lastflüsse berechneten Maximalwerte entnommen werden, die für die verschiedenen Trassentypen ermittelt wurden. Angegeben sind die Maximalwerte im Trassenbereich sowie in einem Abstand von 50 m bei Freileitungen und 20 m bei Erdkabeln von der Trassenmitte. Außerdem ist der Abstand von der Trassenmitte R_k angegeben, ab dem bei den untersuchten Trassen der Wert für die elektrische Feldstärke unter 0,01 kV/m bzw. der Wert für die magnetische Induktion unter 0,1 μ T liegt.

Die höchsten Werte der magnetischen Flussdichte ergaben sich für eine 380 kV-Erdkabeltrasse in Einebenenanordnung mit etwa 86 μ T in 1,0 m Höhe über dem Erdboden, gefolgt von den Werten für 380 kV-Freileitungen, in einem Fall bis knapp über 50 μ T. Der Vergleich der verschiedenen Trassen gleichen Typs zeigt, dass bei Freileitungen die Vergrößerung des minimalen Bodenabstandes der Leiterseile durch Erhöhung der Masten oder durch Verkürzung der Spannfelder eine Verringerung der magnetischen Immissionen um einen Faktor 2 bis 4 zur Folge hat, während bei Erdkabeltrassen eine größere Verlegetiefe schon um wenige Meter eine Reduktion um den Faktor 10 ermöglicht.

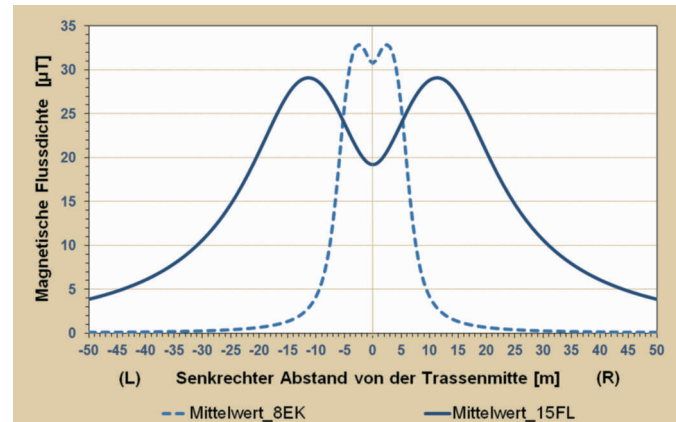


Abbildung 1
Querprofile der magnetischen Felder an 380 kV Freileitungs- (FL —) und Erdkabeltrassen (EK ---): Mittelwerte aus den für den maximalen Betriebszustand berechneten magnetischen Flussdichten für alle untersuchten Trassen (15 Freileitungs- und 8 Erdkabeltrassen)

Außerhalb der eigentlichen Trasse sind die Immissionen an Erdkabeltrassen deutlich niedriger als an Freileitungstrassen. Der Abstand, ab dem der Wert der magnetischen Flussdichte 0,1 μ T unterschreitet, war bei den hier untersuchten Trassen (alle Spannungsebenen) für Freileitungen im Mittel einen Faktor 9 größer als der entsprechende Abstand bei Erdkabeltrassen der selben Spannungsebene.

In Abbildung 1 sind typische Profile der magnetischen Immissionen in der Umgebung von 380 kV-Freileitungs- bzw. Erdkabeltrassen dargestellt.

Magnetische Immissionen in Wohnungen

Zur Ermittlung des Beitrags von Stromübertragungstrassen der Höchst- und Hochspannungsebene auf die magnetischen Immissionen in Wohnungen wurden Messungen in Wohnungen fernab von Hochspannungstrassen sowie in der Nähe von 380 kV- und 110 kV-Freileitungstrassen und 110 kV-Erdkabeltrassen durchgeführt. Um auch den schlimmsten anzunehmenden Fall abbilden zu können, wurden die Immissionen in den Wohnungen in der Nähe von Höchst- bzw. Hochspannungsübertragungstrassen anhand von Berechnungen der Beiträge der Trassen zu den Immissionen bei jeweils höchster Anlagenauslastung extrapoliert. Die elektrischen Immissionen in Wohnungen wurden nicht untersucht, da sie aufgrund der Abschirmung der Felder äußerer Quellen durch die Hauswände praktisch vollständig auf Quellen innerhalb der Wohnungen zurückzuführen sind.

Die Messungen in unterschiedlichen Wohnungstypen fernab von Anlagen der Stromversorgung bestätigen die in früheren Untersuchungen festgestellte Tendenz zu höheren Messwerten mit steigender Anzahl der Wohnungen pro Haus und mit wachsender

Verdichtung der Bebauung. Für Wohnungen in der näheren Umgebung von 380 kV-Freileitungstrassen liegt die mittlere Immission um den Faktor 16 (für die am stärksten exponierte Wohnung um den Faktor 43) über den Immissionen in Wohnungen fernab von Anlagen der Stromversorgung. Bei Wohnungen in der Nähe von 110 kV-Freileitungstrassen waren die Immissionen in dieser Untersuchung im Mittel sieben (maximal bis zu 23) mal so hoch wie diejenige in Wohnungen ohne Hochspannungstrasse in der Nähe. Die Wohnungen in der Nähe von Erdkabeltrassen waren bezüglich der Magnetfeldimmissionen kaum von den Wohnungen fernab von Anlagen der Stromversorgung zu unterscheiden. Bei dieser Spannungsebene wurden die höchsten Werte (im Mittel über 1 μ T) in einer Wohnung gemessen, die sich direkt unter einer 110 kV-Freileitung befand. In den anderen Wohnungen in der Nähe von 110 kV-Freileitungen lagen die Immissionen um mehr als den Faktor 3 niedriger.

Zusammenfassung der Befunde

Die Ergebnisse der Messungen und der Berechnungen der Felder an Hochspannungstrassen sowie der Messungen in Wohnungen stimmen weitgehend mit den Befunden aus früheren Untersuchungen überein:

- Die Höhe der von Freileitungen und Erdkabeln verursachten Immissionen hängt sehr stark von den konstruktiven und betrieblichen Parametern ab. Auch die Umgebungsbedingungen, einschließlich des Wetters, beeinflussen die Stärke der Felder und ihre räumliche Verteilung.
- Die von Erdkabeln der selben Spannungsebene außerhalb des Trassenbereichs verursachten Immissionen sind deutlich niedriger als die von Freileitungen verursachten.
- Die Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern nehmen mit der Wohnungsdichte zu, sie sind in Mehrfamilienhäusern höher als in Einfamilienhäusern.
- Hochspannungsfreileitungen können in benachbarten Wohnungen zu mittleren Expositionen führen, die deutlich über denen in Wohnungen fernab solcher Trassen liegen. In der Nähe häuslicher Stromversorgungsanlagen oder von in Betrieb befindlichen Elektrogeräten können die Expositionen deutlich über dem allgemeinen Haushintergrund liegen und auch deutlich höher sein, als die Beiträge von Hochspannungsfreileitungen.

Literatur

Kramer K. 2000: Kabelbauarten sowie Verlegungsmethoden und ihre Auswirkungen auf magnetische und elektrische Felder im Meer. Merck T. & von Nordheim H. (Hrsg.): Technische Eingriffe in marine Lebensräume. Tagungsband. Bundesamt für Naturschutz, Skripten 29

NDS (Niedersächsische Staatskanzlei) 2007: Fakten zum Netzausbau. Hannover, September 2007

Neitzke H.-P., Osterhoff J. & Voigt H. 2009: Bestimmung und Vergleich der von Erdkabeln und Hochspannungsfreileitungen verursachten Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern. Abschlussbericht zu dem im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz durchgeführten Vorhaben: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201011153619>

vdn (Verband der Netzbetreiber) 2007: Daten und Fakten: Stromnetze in Deutschland 2007

Autoren



Dr. H.-Peter Neitzke ist wissenschaftlicher Leiter des ECOLOG-Instituts für sozial-ökologische Forschung und Bildung in Hannover und Koordinator der Arbeitsgruppe ‚Elektromagnetische Felder, Umwelt und Gesundheit‘. Zu den Arbeitsschwerpunkten des studierten Physikers gehören u.a. Analysen umweltbedingter und technogener Risiken sowie die Entwicklung von Vorsorgestrategien im Zusammenhang mit solchen Risiken. Dr. H.-Peter Neitzke ist als Gutachter für parlamentarische Gremien, Bundes- und Landesbehörden, Kommunen, Verbände und Unternehmen tätig und Herausgeber des Fachinformationsdienstes EMF-Monitor.



Dr. Hartmut Voigt ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am ECOLOG-Institut im Arbeitsbereich ‚Technik & Umwelt‘. Zu den Arbeitsschwerpunkten des Physikers gehören Messungen und Berechnungen von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern. Neben der Erstellung von Immissionsprognosen für konkrete Anlagen berät Dr.

Voigt Kommunen bei allen Fragenstellungen zum weiteren Aus- oder Umbau von emittierenden Anlagen und den Möglichkeiten der Immissionsminderung.

Kontakt:

ECOLOG-Institut gGmbH
Nieschlagstr. 26, 30449 Hannover

peter.neitzke@ecolog-institut.de

hartmut.voigt@ecolog-institut.de

Web: www.ecolog-institut.de