

# 1. Einleitung

Die Umweltwirkungen von Höchstspannungskabeln und Höchstspannungsfreileitungen werden in diesem Teilbericht maßgeblich als Ergebnis einer Literatursynopse dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit gliedern sich die Darstellungen einmal für Erdkabel (Kap. 2), ein anderes Mal für Freileitungen (Kap. 3) nach dem Schutzgüterkatalog des Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetzes (UVPG §2). Berücksichtigt wurden die Schutzgüter: Mensch (insbes. Gesundheit), Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt (Biotope u. Schutzgebiete), Boden, Wasser, Luft, Klima, Landschaft, Kulturgüter und sonstige Sachgüter sowie Wechselwirkungen zwischen den vorgenannten Schutzgütern. Die zu erwartenden Umweltwirkungen lassen sich schwerpunktmäßig entweder der Bauphase (einschl. Rückbau) oder der Betriebsphase (einschl. der dauerhaften anlagebedingten Wirkungen) zuordnen. Entsprechend gliedert sich die Diskussion der möglichen Projektwirkungen in jedem Unterabschnitt. Letztlich ist eine realistische Projektbewertung erst möglich, wenn auch die denkbaren Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen mit bedacht werden. Auch diese Aspekte werden daher in jedem Unterabschnitt behandelt.

Mit einer möglichst dichten Zitation der Literaturquellen soll im Rahmen der Literatursynopse ein hohes Maß an Nachvollziehbarkeit sichergestellt werden. Abgesehen von landschaftsökologischer, umweltplanerischer und umweltrechtlicher Standardliteratur wurden nationale und internationale Quellen zu Erdkabeln und Freileitungen ausgewertet. Hierzu zählten sowohl Forschungsarbeiten und Zeitschriftenveröffentlichungen als auch Umweltverträglichkeitsstudien aus abgeschlossenen und laufenden Zulassungsverfahren. Aufgrund einer bisher erst geringen Realisierung von Erdkabelleitungen auf der Höchstspannungsebene wurden auch Darstellungen aus Kabelprojekten anderer Spannungsebenen und Darstellungen aus vergleichbaren Projekten, wie z.B. Erdgasleitungen (bezüglich der Umweltwirkungen der Bauphase) mitverwendet.

Auftragsgemäß münden die im Textteil ausführlich dargelegten Umweltsachverhalte in eine tabellarische Orientierungshilfe ein, die in einem vorgelagerten Planungsstadium eine Entscheidung zwischen Erdkabel einerseits und Freileitung andererseits erleichtern soll. Im Einzelnen geht es hierbei um acht Thementabellen, in denen die Umwelteignung von Erdkabeln und Freileitungen im Vergleich auf einer 5-stufigen Skala bewertet werden - soweit dieses auf einer übergreifenden und standortungebundenen Ebene möglich ist. Die Feingliederung des Langtextes nach Bau- und Betriebsphase sowie eine Berücksichtigung von Vermeidungs- u. Minderungsoptionen finden sich in den Tabellen der synoptischen Bewertung wieder.

Eine konkrete Bewertung der zu erwartenden Umweltfolgen bei Bau und Betrieb von Erdkabeln sowie von Freileitungen erfolgt regelmäßig im Rahmen ausführlicher Umweltverträglichkeitsuntersuchungen, die im jeweiligen Genehmigungsverfahren vorgeschrieben sind. Erst im Rahmen einer solchen, die örtlichen Gegebenheiten berücksichtigenden Untersuchung, können die tatsächlich zu erwartenden Umweltwirkungen benannt werden. Die von uns erstellten tabellarischen Einschätzungen sollen derartige Umweltuntersuchungen weder vorwegnehmen noch ersetzen. Sie sind vielmehr als eine grobe Orientierung für die ersten Planungsschritte vorgesehen, die auf dem heutigen Wissens- und Erfahrungsstand zu den einzelnen Umweltschutzgütern einer frühzeitigen Vermeidung vorhersehbarer Planungskonflikte dienen.

Im letzten Abschnitt finden sich unsere Planungsempfehlungen für den weiteren Ausbau des Höchstspannungsnetzes. Die Empfehlungen aus rechtlicher Sicht werden vom Lehrstuhl für deutsches und internationales Berg- und Energierecht der TU Clausthal vertreten. Die technisch-wirtschaftlichen Empfehlungen vertritt das Fachgebiet Elektrische Energieversorgung an der Leibniz Universität Hannover. Die Umweltempfehlungen wurden von der OECOS GmbH, Hamburg, ausgearbeitet.

Das Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG) hat eine breitere Erprobung der Höchstspannungsübertragung mittels Erdkabeln in Deutschland erst möglich gemacht. Bislang gibt es - zumindest auf der Höchstspannungsebene - weltweit nur sehr wenig realisierte Projekte. Der Mangel an greifbaren Erfahrungen auf diesem Gebiet hat unsere Quellenrecherchen erschwert; der vorläufige Charakter unserer darauf aufbauenden Ergebnisse und Erkenntnisse ist uns nur allzu bewusst. Unter diesem Vorbehalt hoffen wir dennoch einen auf heutigem Erkenntnisstand sinnvollen und nützlichen Beitrag zu einem umweltverträglichen Ausbau des Höchstspannungsnetzes in Deutschland leisten zu können.

## **2. Auswirkungen von Erdkabelvarianten auf Mensch, Natur und Umwelt**

### **2.1 Auswirkungen von Erdkabeltrassen auf Gesundheit und Wohlbefinden (Mensch)**

#### **2.1.1 Übersicht**

Der folgende Abschnitt ist dem aktuellen Forschungsstand zu den Themenfeldern "*Magnetische Feldwirkungen*" und "*Auswirkungen von Unfällen*" gewidmet. Auf "*Elektrische Feldwirkungen*" wird in diesem Abschnitt nicht näher eingegangen, da elektrische Felder durch die metallischen Kabelmäntel komplett abgeschirmt werden (vgl. FBG-FREILEITUNGSBAU GMBH 2004, S. 7 u. BRAKELMANN 2004, S. 40, vgl. Berichtsteil Technik, Teil III). Es handelt sich hierbei ausschließlich um Wirkungen aus Anlage und Betrieb. Unspezifische Bau-Nebeneffekte, bspw. Wohnumfeldqualitätsminderungen durch Schallemissionen von Baufahrzeugen im Umfeld von Baustraßen (vgl. GEO et al. 2009, S. 88) bleiben an dieser Stelle außen vor.

Die Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen auf das Schutzgut Mensch werden u.a. von BERNHARDT 2002; BRAKELMANN 2004; BUWAL 2005; FBG-FREILEITUNGSBAU GMBH 2004; GEO et al. 2009; SSK 2008; SSK 2009; WHO 2001, ICNIRP 2010, SILNY et al. 2001-2011 synoptisch diskutiert.

#### **2.1.2 Beeinträchtigungen durch magnetische Felder**

Jeder von Strom durchflossene Leiter ist von einem magnetischen Feld umgeben. Hochspannungsfreileitungen, Transformatoren, Bahnoberleitungen und Erdkabel sind als Quelle magnetischer Felder mit Relevanz für den Menschen bekannt (vgl. LUA 2004, S. 2). Die 26. BImSchV regelt die Zulässigkeit elektromagnetischer Felder für Niederfrequenzanlagen. Als solche gelten Erdkabel mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Spannung von 1.000 Volt oder mehr. Die bei diesen Anlagen entstehenden Magnetfelder können sowohl organische als auch anorganische Stoffe durchdringen. Dabei gilt, dass die magnetische Flussdichte sich mit zunehmender Stromstärke erhöht. Im Bereich der Erdkabeltrassen treten die stärksten Felder an den Orten mit der geringsten Bodenüberdeckung auf. Die Stärke der Felder nimmt mit zunehmender seitlicher Entfernung exponentiell ab (vgl. Berichtsteil Technik, Teil III Abschn. 3.4; FBG-FREILEITUNGSBAU GMBH 2008, S. 7).

Die Auswirkung der magnetischen Felder von Niederfrequenzanlagen auf den Menschen wird international in einer großen Anzahl von Studien kontrovers erörtert (vgl. u.a. BERNHARDT 2002; BUWAL 2005; GEO et al. 2009; SSK 2008; SSK 2009; WHO 2001, ICNIRP 2010). Das Spektrum der diskutierten Auswirkungen auf den Menschen umfasst dabei u.a.:

- Kanzerogene Wirkungen
- Veränderung der Melatoninproduktion
- Vermehrtes Auftreten von Alzheimer in der Nähe von Hoch- und Höchstspannungsleitungen
- Störbeeinflussung auf aktive Implantate, z.B. Herzschrittmacher
- Auftreten von Kopfschmerzen, Erschöpfungszuständen und Allergien.

Die International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ein Beratungsgremium der WHO, fasst den aktuellen Forschungsstand 2010 so zusammen, dass aufgrund der bisherigen Forschungsarbeiten zwar von einer möglichen Beeinflussung auszugehen ist, dass gesundheitliche Auswirkungen aber noch nicht ausreichend belegt sind, um obere Grenzwerte nennenswert herabzusetzen (ICNIRP 2010). Vor dem Hintergrund der bestehenden Wissensunsicherheiten fallen die Grenzwerte weltweit immerhin sehr unterschiedlich aus. Sie werden vielerorts mit hohen Vorsorgemargen versehen (vgl. NEITZKE u. OSTERHOFF S.1). Nach der 26. BImSchV 1996 (§ 3 i.V.m. Anhang 2) liegt der Immissionsgrenzwert der magnetischen Flussdichte in Deutschland bei 100  $\mu\text{T}$  (50 Hz) und gilt für alle Orte, an denen Menschen sich dauerhaft aufhalten können. In der Schweiz gilt ebenfalls 100  $\mu\text{T}$  als Grenzwert. Darüber hinaus wird jedoch ein zweiter Grenzwert von 1  $\mu\text{T}$  für die Dauerexposition an sensiblen Orten definiert. In den Niederlanden darf die Dauerbelastung von Kindern durch Hochspannungsleitungen 0,4  $\mu\text{T}$  nicht überschreiten. In Bremen (2004) empfiehlt der Senator für Arbeit, Frauen, Gesundheit, Jugend und Soziales sogar die Einhaltung von 0,3  $\mu\text{T}$  bei Hochspannungsleitungen. Hier ist jedoch darauf hinzuweisen, dass Werte in dieser Größenordnung bereits regelmäßig in der Nähe allgegenwärtiger Haushaltsgeräte (Mixer, Heizdecken etc.) weit überschritten werden.

Elektrische und magnetische Felder von 380-kV-Kabeln sind im Berichtsteil Technik (Teil III Abschn. 3.4) ausführlich berechnet worden. Studien von BRAKELMANN (2004, S. 40), dem BUND (2007, S. 13) und GEO et al. (2009, S. 170) zufolge werden die Grenzwerte von 100  $\mu\text{T}$  bei 380-kV-Erdleitungen im oberirdischen Bereich nicht überschritten. Einer Studie des BUND (vgl. 2007, S. 13) zufolge wurden bei voller Strombelastung eines 380-kV-Kabels Werte von maximal 30-40  $\mu\text{T}$  erreicht. Im Abstand von 50 m wurden dabei 5  $\mu\text{T}$  unterschritten. BRAKELMANN zufolge liegen die magnetischen Induktionen einer 380-kV-Erdleitung weit unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes für Dauerexpositionen. Nach BRAKELMANN (2004, S. 40) sei das Magnetfeld eines gebündelten verlegten Kabels in 30 m Abstand von der Trasse praktisch nicht mehr nachweisbar. Eine solche Verlegung reduziert jedoch die Übertragungsleistung erheblich.

Unterschiedlich wird in der Literatur offenbar die Aufpunkthöhe verwendet. So gehen GEO et al. (2009, S. 226) davon aus, dass für die vom Erdkabel ausgehenden

Feldwirkungen auf den Menschen insbesondere die Feldstärken in Brust- bis Kopfhöhe, d.h. in 1,2 m bis 1,8 m über Boden relevant seien, normgerecht ist in Deutschland aber eine Höhe von 0,2 m für Erdkabel, wobei die Überlegung zugrunde liegt, dass Kinder und liegende Personen gegenüber dem zum Boden hin zunehmenden Feld geschützt sein sollen.

Die STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (SSK) DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT hat sich erstmals ausführlich 2001 mit wissenschaftlich nachgewiesenen Reaktionen und Gesundheitsbeeinträchtigungen durch niederfrequente magnetische Felder unter dem Titel „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“ befasst. Die SSK (2001, S. 18) gibt darin u.a. folgende vorsorgende Empfehlungen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern:

- Maßnahmen ergreifen, um Expositionen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder - insbesondere in den Bereichen, in denen sich Personen regelmäßig über längere Zeit aufhalten - im Rahmen der technischen und wirtschaftlich sinnvollen Möglichkeit (Stand der Technik) zu minimieren,
- relevante Immissionen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder in regelmäßigen Zeitabständen überprüfen,
- bei der Errichtung ortsfester Anlagen, die relevante elektromagnetische Emissionen verursachen, eine verstärkte Information der Bürger und die Einbeziehung von Vertretern der Kommunen in die Planung anstreben,
- die Grenzwerte nicht vollständig ausschöpfen, um einen Spielraum für die Nutzung neuer Technologien in Zukunft zu behalten.

Für Träger von Herzschrittmachern empfiehlt die SSK (2008) einen Grenzwert von 10  $\mu$ T. Im Jahr 2009 präzisiert die SSK ihre Empfehlungen, die gesetzlichen Expositionsgrenzwerte nicht voll auszuschöpfen dahingehend, dass Immissionen von ortsfesten Anlagen zur Energieversorgung an Orten, die der Öffentlichkeit zugänglich sind, deutlich unterhalb der bestehenden Grenzen für die Gesamtexposition gehalten werden sollten. Dies schließt Wohnbereiche und Räumlichkeiten ein, die für den nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen der Allgemeinbevölkerung vorgesehen sind (SSK 2009, S. 11; vgl. auch BUWAL 2004, S. 40).

Von einem Nahbereich hoher Magnetfelder abgesehen fallen Magnetfeldemissionen von Erdkabeln der Höchstspannungsebene zu den Seiten hin schnell ab (vgl. Berichtsteil Technik, Teil III, Abschn. 2.1). Gleichzeitig fehlen relevante elektrische Felder bei Erdkabeln. In der Öffentlichkeit wird daher der Einsatz der Erdkabeltechnologie als Alternative zu Freileitungen diskutiert. Das Landesraumordnungsprogramm Niedersachsen (2008) legt daher für Neutrassen bei Unterschreitung eines Mindestabstands von 400 m zu Wohngebäuden im Geltungsbereich

eines Bebauungsplans oder im unbeplanten Innenbereich nach § 34 BauGB und 200 m zu Wohngebäuden im Außenbereich nach § 35 BauGB die Erdverkabelung als Ziel der Raumordnung fest (Nds. GVBl. 2008, 132, Abschn. 4.2 Ziffer 07, Sätze 6-8; nähere Begründung in Abschn. 3.3.1). Ähnlich wurden diese Werte ebenfalls in § 2 Abs. 2 des Energieleitungsausbaugesetzes (EnLAG) übernommen. Seit der EnLAG-Novelle vom 7.3.2011 kann im Falle des Neubaus die für die Zulassung des Vorhabens zuständige Behörde verlangen, eine Höchstspannungsleitung auf einem technisch und wirtschaftlich effizienten Teilabschnitt als Erdkabel zu errichten und zu betreiben oder zu ändern, wenn die Leitung in den o.g. Abständen von 200 m bzw. 400 m zu Wohngebäuden verlaufen soll (vgl. Berichtsteil Recht, Abschn. 1.4.5.2.3).

### **2.1.3 Beeinträchtigungen durch Unfälle**

GEO et al. (2009, S. 140) zufolge kam es in Deutschland in den vergangenen 10 Jahren im Durchschnitt jährlich zu 3 bis 4 Unfällen an Hochspannungserdkabeln (ab einer Spannungsebene von 110 kV). Technisch betrachtet sind während des Betriebs von Erdkabelleitungen Störungen durch mechanische Einwirkung, durch Korrosion, durch Überspannung oder durch mechanisch thermische Überbeanspruchung möglich (vgl. GEO et al. 2009, S. 54). Die Gefahr eines Stromschlages besteht zwar im Zusammenhang mit Erdarbeiten in der Nähe von Kabeln, jedoch besteht bei Arbeiten an Erdkabeln eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass der Kurzschlussstrom eher über die Baumaschinen abgeleitet wird, als über den menschlichen Körper.

Im Zusammenhang mit Unfällen an Erdkabeln werden in der Literatur weniger die Schäden an Leib und Leben als vielmehr die zumeist aufwendigen Reparaturen thematisiert. Hierbei ist GEO et al. (2009, S. 54) mit einer durchschnittlichen Reparaturzeit von ein bis zwei Wochen zu rechnen, andere Autoren gehen von drei bis vier Wochen aus (vgl. Berichtsteil Technik, Teil I).

Im Bereich der Umspannwerke kann es sowohl bei Kabeln wie bei Freileitungen im Falle von Explosionen zu einer Freisetzung von Luftschadstoffen kommen (vgl. OBERFELD 2006, S. 89).

### **2.1.4 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen**

Der Mensch wird während der Bauphase hauptsächlich durch Lärm- und Schadstoffemissionen beeinträchtigt. Diese lassen sich durch eine optimierte Arbeits- und Bauplanung sowie durch eine zügige Baudurchführung minimieren. Durch eine zeitliche Minimierung der Bauarbeiten kann auch die mögliche Trenn- und Barrierewirkung der Baustelle gering gehalten werden. Grundsätzlich muss die Erreichbarkeit von Siedlungen, z.B. durch Krankenwagen und Feuerwehr, ge-

währleistet sein, notfalls mittels der Unterpressung von Verkehrswegen. Die Beinträchtigung durch Schadstoffe der Baustellenfahrzeuge und –geräte kann mit Hilfe eines Einsatzes von schadstoffarmen Fahrzeugen und der Einhaltung von Emissionsschutzwerten auf ein geringes Maß begrenzt werden.

Die metallische Kabelumhüllung von Erdkabeln verhindert die Emission elektrischer Felder. Auch das Magnetfeld lässt sich u.a. durch die Anordnung und Lage der Kabel (möglichst enge Bündelung der Leiter eines Systems, Verlegung in größerer Bodentiefe) erheblich reduzieren. Bestehen in bestimmten Bereichen hohe Anforderungen an die Minimierung des Magnetfeldes, so kann dieses durch technische Maßnahmen zusätzlich eingeschränkt werden. BRAKELMANN (2010, S. 33 ff.) stellt dazu verschiedene Isolationstechniken vor, mit denen auf der 220-kV-Trasse Bad Schwartau – Lübeck (8 km) des Projekts Baltic Cable erstmals auch in Deutschland eine Magnetfeldabschirmung auf 0,2  $\mu\text{T}$  erreicht wurde. Dabei wurden betongefüllte Stahlrohre verwendet, in denen 3 Kabel so dicht geführt wurden, dass das Magnetfeld weitestgehend gegenseitig aufgehoben worden ist - was allerdings einen thermischen Engpass zur Folge hat. Der Aufbau ist vergleichsweise aufwendig, bedingt Restriktionen im technischen Betrieb und ist daher nur für kurze Strecken geeignet. Auch Kompensationsleiter, die parallel über dem Kabel geführt werden, können das Magnetfeld minimieren. Sie werden Brakelmann (mdl.) zufolge standardmäßig im Muffenbereich eingesetzt. Eine weitere Möglichkeit der Abschirmung des Magnetfeldes wird ggf. eine in das Kabel eingearbeitete permeable Spezialfolie bieten (BRAKELMANN 2010, S. 33 ff.).

**Tabelle 1:** Ausschnitt aus Grenzwerttabelle der ECOLOG-Studie (NEITZKE U. OSTERHOFF 2010)

INSTITUTION/VORSCHRIFT (JAHR)	ANWENDUNGSBEREICH	FREQUENZ [Hz]	ELEKTR. FELD [V/m]	MAGNET. FELD [ $\mu\text{T}$ ]
<b>Deutschland</b>				
26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz	Bevölkerung, gewerblich genutzte Anlagen, Dauerexposition	50	5.000	100
	Bevölkerung, gewerblich genutzte Anlagen, kurzfristige Überschreitung		10.000	200
<b>Bundesland Bremen</b>				
Senator für Arbeit, Frauen, Gesundheit, Jugend und Soziales Empfehlung zur Gesundheitsvorsorge bei Niederfrequenzanlagen	Bevölkerung, Hochspannungsleitungen	50		0,3
<b>Bundesland Nordrhein-Westfalen</b>				
Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) Abstandserlass (2004)	Bevölkerung, Hochspannungsfreileitungen	50		10